

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Títol: Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Volum: 1

Alumne: Albert Serra Corominola

Director/Ponent: Joan Climent Vilaró

Departament: ESII

Data: 24 de Gener de 2011

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

DADES DEL PROJECTE

Títol del Projecte: Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Nom de l'estudiant: Albert Serra Corominola

Titulació: Enginyeria Informàtica

Crèdits: 37,5

Director/Ponent: Joan Climent Vilaró

Departament: ESAII

MEMBRES DEL TRIBUNAL *(nom i signatura)*

President: Antonio B. Martinez Velasco

Vocal: Maria Carme Quer Bosor

Secretari: Joan Climent Vilaró

QUALIFICACIÓ

Qualificació numèrica:

Qualificació descriptiva:

Data:

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Índex de continguts

1	Introducció.....	10
1.1	Objectius.....	11
1.2	Organització de la memòria.....	13
1.3	Aplicacions.....	13
2	Sensors de força.....	16
3	Pedal.....	23
3.1	Introducció.....	23
3.2	Estructura.....	23
3.3	Calibratge.....	24
3.4	Recalibrant al laboratori.....	26
3.5	Metodologia per calcular la força.....	29
4	Placa de desenvolupament.....	35
4.1	Introducció.....	35
4.2	Adaptació de la placa.....	35
4.2.1	Introducció.....	35
4.2.2	Estat inicial.....	35
4.2.3	Components de la placa.....	37
4.2.3.1	Microcontrolador.....	37
4.2.3.2	Oscil·lador.....	37
4.2.3.3	Busos de transmissió de dades.....	37
4.2.3.4	Tractament de la senyal.....	37
4.2.3.5	Regulador de tensió.....	38
4.2.3.6	Programació In-Circuit.....	38
4.2.4	Components reutilitzables.....	38
4.2.4.1	Microcontrolador.....	39
4.2.4.2	Oscil·lador.....	40
4.2.4.3	Busos de dades.....	40
4.2.4.4	PGA.....	41
4.2.4.5	Convertidor Analògic-Digital.....	43
4.2.5	Components a afegir.....	45

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

4.2.5.1 Bus serie.....	45
4.3 Firmware.....	46
4.4 PGA309a.....	48
4.4.1.1 Comunicació.....	48
4.4.1.1.1 Escriptura d'un registre.....	52
4.4.1.1.2 Lectura d'un registre.....	52
4.4.1.2 Configuració.....	52
4.4.1.2.1 Registre 0: Registre de temperatura.....	52
4.4.1.2.2 Registre 4: Ajust de l'offset i el guany.....	52
4.4.1.2.3 Registre 6: Control de la temperatura.....	53
4.5 Modul AD.....	53
4.6 Tractament de les dades.....	53
4.7 Consum de la placa.....	55
5 Comunicació sense fils.....	56
5.1 Introducció.....	56
5.2 Comparació de les tecnologies.....	56
5.2.1 Infraroig.....	56
5.2.2 Radio Freqüència.....	58
5.2.3 WIFI.....	59
5.2.4 Bluetooth.....	59
5.2.5 Conclusions.....	61
5.3 Bluetooth.....	62
5.3.1 Especificacions del mòdul utilitzat.....	62
5.3.2 Comunicació amb el mòdul.....	64
5.4 Radio Freqüència.....	65
5.4.1 Mòdul Emissor.....	65
5.4.2 Mòdul Receptor.....	70
5.4.3 Placa que el governa.....	71
6 Integració del circuit al pedal.....	73
6.1 Miniaturització.....	75
7 Aplicació pel mòbil.....	76
7.1 Introducció.....	76
7.2 Tecnologia usada.....	76
7.3 Funcionalitats.....	76

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

7.4 Metodologia.....	77
7.5 Classes.....	77
7.5.1 VisualitzacioForces.....	78
7.5.1.1 Variables.....	78
7.5.1.2 Funcions.....	79
7.5.2 StockCommandListener.....	79
7.5.2.1 Variables.....	79
7.5.2.2 Funcions.....	80
7.5.3 Pantalla.....	80
7.5.3.1 Variables.....	80
7.5.3.2 Funcions.....	80
7.5.4 P_Inici.....	80
7.5.4.1 Captura de pantalla.....	81
7.5.5 P_BuscarDispositiu.....	81
7.5.5.1 Captura de pantalla.....	81
7.5.6 P_BuscarServeis.....	82
7.5.7 P_Dispositiu.....	82
7.5.7.1 Captura de pantalla.....	82
7.5.8 P_Dades.....	83
7.5.8.1 Captura de pantalla.....	83
7.5.9 P_Gràfica.....	83
7.5.9.1 Captura de pantalla.....	83
7.5.10 P_Credits.....	83
7.5.10.1 Captura de pantalla.....	84
7.5.11 BlueTooth.....	84
7.5.11.1 Variables.....	84
7.5.11.2 Funcions.....	84
7.5.12 InfoDispositiu.....	85
7.5.12.1 Variables.....	85
8 Avaluació de resultats.....	86
9 Valoració econòmica.....	88
10 Planificació.....	89
11 Bibliografia.....	91
12 Annexos.....	92

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

12.1 Pont de Wheatstone.....	92
12.2 Introduccions als components electrònics.....	94
12.2.1 Introducció.....	94
12.2.2 Microcontrolador.....	94
12.2.3 Oscil·lador.....	95
12.2.3.1 Cristall de Quars.....	95
12.2.3.2 RC (Resistència condensador).....	96
12.2.4 Bus I2C.....	96
12.3 Esquemes electrònics.....	98

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

1 Introducció

Aquest PFC forma part d'un projecte comercial que està desenvolupant la UPC i que consisteix en la construcció d'una bicicleta elèctrica d'alta tecnologia. Actualment l'ús de bicicletes elèctriques no està gaire estès a la població degut a l'alt preu però tenen un futur molt prometedor sobretot pel que fa a desplaçaments urbans. Desenvolupant una bicicleta amb un alt nivell de prestacions pot ser un començament per atreure l'atenció del gran public i incentivar-ne el mercat.



Figura 1: Prototip de bicicleta elèctrica

Concretament aquest PFC es centra en la mesura de l'esforç físic realitzat per l'usuari de la bicicleta amb la finalitat de poder regular la força aplicada per el motor elèctric i poder avaluar l'estat físic del ciclista. Aquest projecte aporta molts beneficis a la bicicleta elèctrica un d'ells i el

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica més important és la obligació per part del reglament que regeix aquests tipus de vehicles d'incorporar un sistema per tal de controlar que el motor elèctric no impulsi la bicicleta quan l'usuari no estigui pedalant.

Per assolir el compliment del reglament només faria falta controlar si el pedal està girant o no, cosa que simplificaria molt la solució del problema però en aquest PFC calcularem la força que l'usuari està fent sobre el pedal per decidir si aquest l'està movent i saber a més a més amb quina intensitat ho fa. Llavors el primer pas del projecte és obtenir la mesura de l'esforç aplicat per l'usuari i utilitzarem uns sensors de força degudament inserits en el pedal per tal de calcular-lo.

Un dels elements de major importància dintre d'aquest projecte és el pedal ja que per aconseguir l'objectiu proposat necessitem mesurar la força aplicada en aquests, d'aquesta manera poder obtenir l'esforç realitzat amb precisió. Així que podem afirmar que aquest serà un element de gran importància dintre d'aquest projecte i que condicionarà tot el projecte degut a les seves limitacions que les explicarem més endavant.

1.1 Objectius

L'objectiu del projecte és la mesura de l'esforç realitzat per part de l'usuari a la bicicleta elèctrica mitjançant una serie de sensors i enviar aquestes dades a un dispositiu extern i poder visualitzar aquestes dades per una fàcil interpretació per part de l'usuari. Per tal de dur a terme aquest objectiu necessitem assolir abans una serie d'objectius previs.

- Disposar d'un pedal que permeti conèixer la força aplicada per l'usuari. Aquest pedal té implantat un sensor de força a cada una de les barres que el subjecten amb la corona i ens el proporciona el departament de mecànica. Així que tindrem dues lectures a interpretar, una corresponent a l'esforç que es fa amb el peu esquerra i l'altre per el peu dret. Gràcies a tenir la força aplicada a cada pedal podrem obtenir estadístiques més detallades de l'exercici realitzat.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica



Figura 2: Pedal amb els sensors de força

- Acondicionar els valors dels sensors. Les dades provinents dels sensors són senyals elèctriques analògiques de molt baix voltatge fet que no ens permet treballar directament sobre aquestes obligant-nos a tractar la senyal per tal de poder digitalitzar-la i tractar-la còmodament.
- Interpretar l'esforç obtingut. Un cop tenim la mesura dels sensors, utilitzant un microcontrolador, haurem de tractar les dades per obtenir estadístiques i dades interpretables per l'usuari.
- Enviar els valors. Per tal de poder mostrar les dades amb comoditat i de una forma pràctica s'hauran de poder enviar les dades a un dispositiu extern al circuit ja que aquest no disposarà de cap interfície gràfica ni cap pantalla. Avaluarem quines tecnologies de transmissió podem fer servir i escollirem la millor per el nostre cas particular.
- Desenvolupar la interfície on es mostraran les dades. La finalitat del projecte es poder mostrar els resultats recollits a l'usuari per això haurem de fer servir un dispositiu amb una aplicació pròpia per mostrar-les.
- Optimitzar el circuit energèticament. Un requisit molt important a l'hora de desenvolupar la PCB serà el seu baix consum energètic ja que haurà de ser capaç de funcionar amb una pila de botó durant un llarg període de temps degut a l'aïllament de la circuiteria. Per tal d'alimentar els sensors situats al pedal de la bicicleta, hauríem fer passar un cablejat

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica per de construir un sistema L'aïllament del circuit està causat a la impossibilitat de portar cablejat a cada pedal ja que aquest és un objecte mòbil

- Miniaturització el circuit. Per tal de poder inserir el circuit al pedal de la bicicleta haurà de tenir unes dimensions molt limitades cosa que ens obligarà a miniaturització-lo de forma que ocupi el menor espai possible.

1.2 Organització de la memòria

La memòria està estructurada segons els temes que s'han anat treballant durant les diferents etapes del projecte. Cada apartat l'hem escollit amb cura per poder tenir una bona organització dels conceptes i cada un d'aquests se n'ha fet una descripció inicial, la feina realitzada i unes conclusions derivades del treball realitzat.

Tota la memòria en si també segueix la mateixa estructura que s'ha utilitzat per cada apartat de manera que se'n fa una introducció inicial, s'exposa i s'explica el treball realitzat i finalment se n'extreuen unes conclusions.

1.3 Aplicacions

Com ja s'ha explicat a la introducció, aquest projecte te la finalitat de poder recollir les dades dels sensors de força per a poder calcular l'esforç aplicat per l'usuari de la bicicleta. Aquesta funcionalitat pot tenir aplicacions molt diferents, ja pot servir en un àmbit mèdic, en un àmbit comercial o també en àmbit personal.



Figura 3: Bicicleta estàtica de rehabilitació a la que es podria instal·lar el pedal

Degut a la llei de regulació de bicicletes elèctriques és necessari que disposi d'un sistema que privi al motor elèctric propulsar la el vehicle si l'usuari no està pedalant. Aquesta restricció és necessària per tal que el vehicle el pugui utilitzar per la via publica una persona sense carnet de conduir. El control es pot realitzar de diferents maneres, ja pot ser controlant si l'usuari està movent els pedals o calculant si l'usuari està aplicant força sobre els pedals. Utilitzant la primera opció es compleix la llei però el resultat obtingut per l'usuari no és del tot satisfactori ja que el motor no té en compte la intensitat amb el que l'usuari està pedalant. Pel que fa a la segona opció podem observar que el control que tenim sobre el motor és molt superior podent augmentar o disminuir l'assistència d'aquest només aplicant més força sobre els pedals. D'aquesta manera s'obté un resultat molt més suau i agradable a l'ús.

També es pot aplicar a la bicicleta estàtica oferint informació de l'esforç físic que s'ha realitzat durant una sessió i d'aquesta manera obtenir resultats més fiables per tal de seguir el

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica
progres que s'està fent. Aquesta mateixa aplicació es podria portar a la bicicleta convencional ja que
només es necessitaria canviar els pedals.

En l'àmbit mèdic també seria aplicable com a bicicleta de rehabilitació perquè podríem saber
quin nivell de força realitza el pacient. El fet de disposar d'un sensor de força a cada pedal ens pot
ajudar enormement ens els pacients que s'han de recuperar només d'una cama perquè podríem saber
quanta força fa cada cama i així poder fer una recuperació uniforme.

2 Sensors de força

Un sensor és un dispositiu capaç de mesurar variacions en el medi i transformar-les a variables elèctriques. Concretament un sensor de força ens serveix per mesurar els esforços que s'exerceixen sobre un objecte.

El sensor de força més comú són les galgues extensiomètriques que varen ser inventades per Edward E. Simmons i Arthur C. Ruge l'any 1938 i està compost per una bobina plana d'un material piezoresistiu. La propietat fonamental en que es basen les galgues de material piezoresistiu és la capacitat de canviar la seva resistivitat degut a l'aplicació d'un estrès mecànic.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

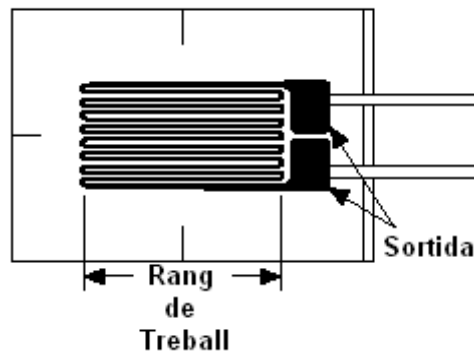


Figura 4: Galga dissenyada per Edward Simmons i Arthur Ruge

La galga es fixa solidàriament a l'objecte de forma que si aquest és deformat, la galga també pateix aquesta deformació provocant un canvi de la seva resistència. El valor obtingut de la galga i l'esforç realitzat està relacionat amb el la variable “Factor de Galga” (GF) definit de la forma següent:

$$GF = \frac{\Delta R / R_G}{\xi}$$

on ΔR és l'increment de resistivitat causat per l'esforç, R_G és la resistència de la galga en estat de repòs i ξ és l'esforç.

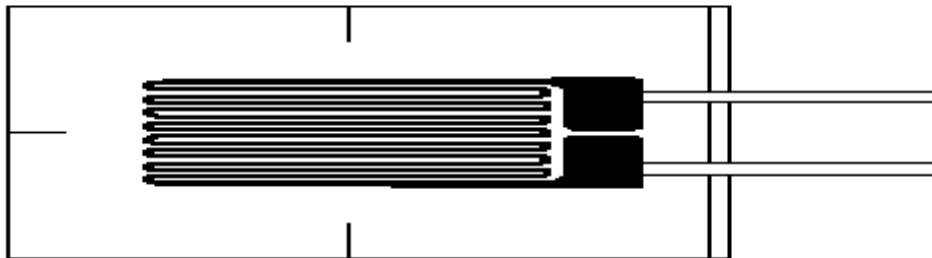


Figura 5: Galga deformada en l'eix horitzontal

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

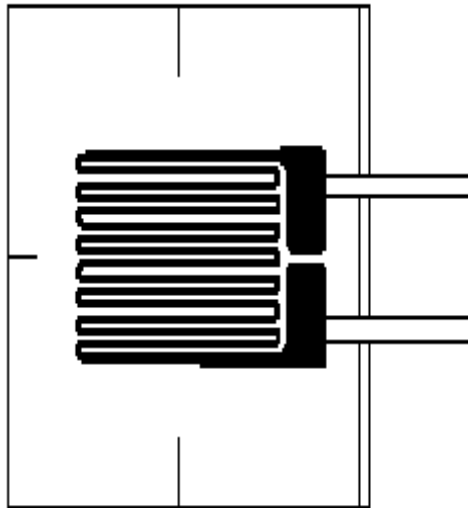


Figura 6: Galga deformada en l'eix vertical

Com podem veure a la galga extensiomètrica de la figura 5 i 6, la ubicació del material piezoresistiu està distribuït de manera que una deformació en l'eix horitzontal fa augmentar la llargada d'aquest conductor de forma més contundent que la deformació en l'eix vertical. Aquest fet ens permet obtenir una lectura de força en un sol eix sense que els esforços realitzats en els altres eixos hi interfereixin significativament.

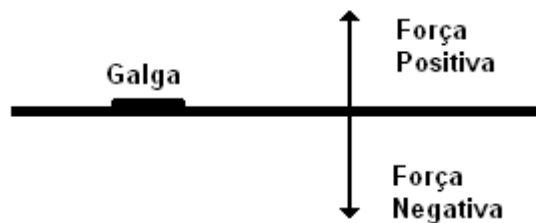


Figura 7: Disposició de la galga en funció de la força mesurada

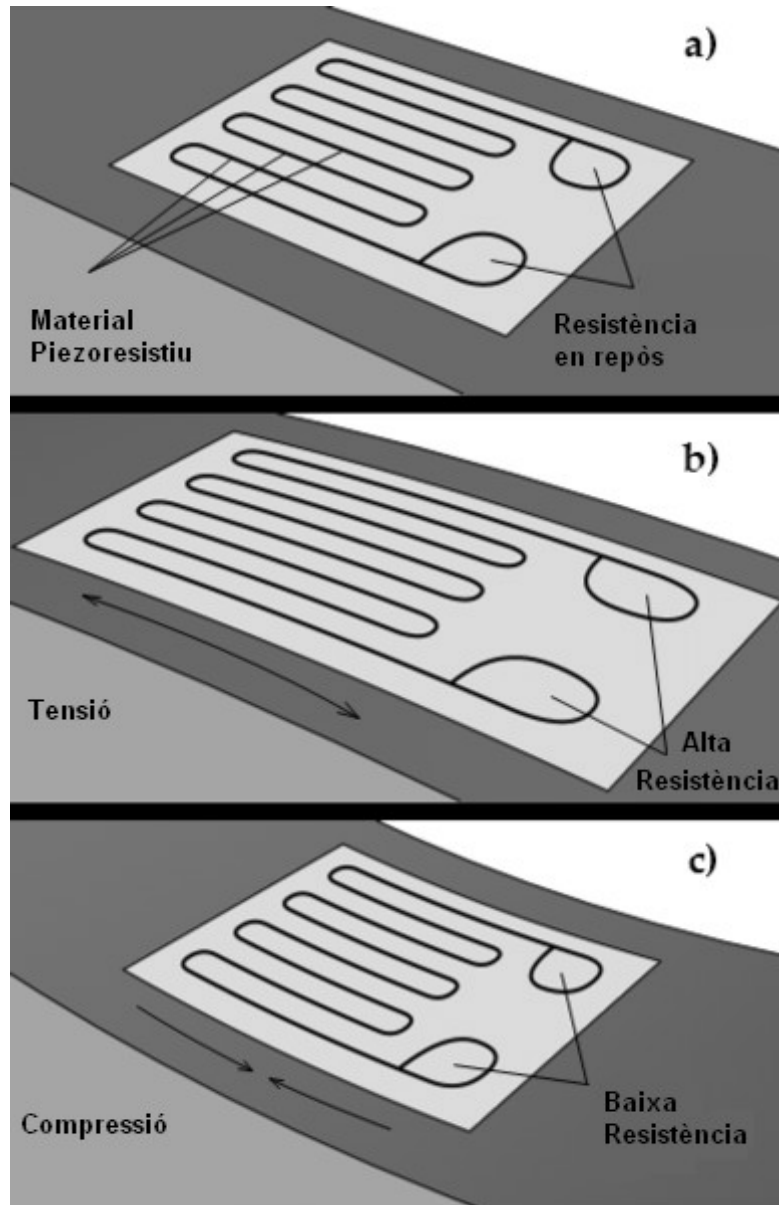


Figura 8: Variació de la resistivitat en relació a la deformació

En la figura 8 veiem els tres possibles estats en que es pot trobar la galga, el primer estat i més senzill és l'estat de repòs on la resistivitat de la galga dependrà únicament de la seva construcció. El segon estat veiem que es troba en tensió que es donarà quan l'esforç es realitzi en sentit negatiu (segons l'esquema de la figura 7) i per tant, la seva resistivitat augmentarà. Finalment l'últim estat és de compressió que es donarà quan la força s'apliqui en sentit positiu i conseqüentment la seva resistència disminuirà.

A la pràctica, per mesurar aquest canvi de resistivitat interna, es fa passar un corrent elèctric per la galga i mitjançant la llei d'Ohm i la lectura de la diferència de voltatge que ha tingut a la galga podem deduir el valor desitjat. Les mesures de tensió obtingudes d'una galga són de l'ordre de milivolts, per tant, la mesura d'aquest voltatge necessita d'una gran exactitud. Per mesurar aquests

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica
petits canvis normalment s'utilitza el pont de Wheatstone (veure annex1).

El voltatge de sortida del pont de Wheatstone és:

$$V_{BC} = V_I \left(\frac{R_X}{R_X + R_3} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

D'aquesta equació es pot deduir que quan $R_1/R_2 = R_X/R_3$ el voltatge de sortida és zero. Quan es compleix aquesta premissa es diu que el pont està balancejat cosa que farà que qualsevol canvi en qualsevol resistència implicarà una variació del voltatge de sortida.

La configuració més senzilla del pont de Wheatstone per aconseguir una lectura del sensor de força consisteix en la substitució de la resistència R_x per la galga extensiomètrica. D'aquesta manera per qualsevol variació de la resistència interna de la galga obtindrem una variació del voltatge de sortida.

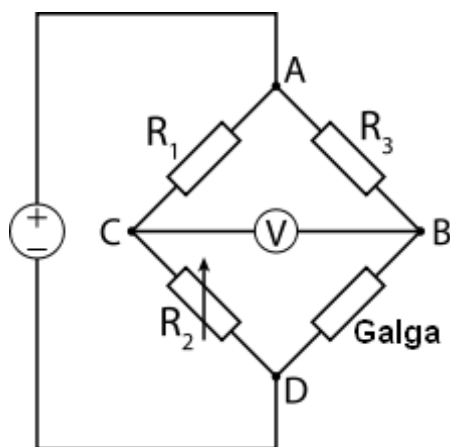


Figura 9: Pont de Wheatstone amb una galga

Idealment, el que nosaltres necessitem és que la galga només canviï la seva resistència respecte la força aplicada. Tot i això la temperatura ens causa 2 problemes que hem d'afrontar. Un d'ells és la variació de la resistivitat del material del que està feta la galga, de manera que en cas d'un canvi de temperatura tot i no exercir cap força a sobre l'objecte mesurat, la resistència interna de la galga canviarà causant un canvi del voltatge del pont de Wheatstone de forma que interpretarem erròniament les dades llegides del sensor. L'altre problema que ens planteja és la variació del volum del objecte al qual està fixada la galga, per tant, a partir un canvi de volum, la galga patirà una deformació causant com en el cas anterior una interpretació errònia de la lectura del sensor.

Els fabricants de galgues extensiomètriques procuren contrarestar aquests dos efectes per tal de minimitzar la sensibilitat d'aquest sistema a la temperatura processant el material de la galga

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

perquè el canvi de resistivitat que pateix aquest material compensi el canvi de resistivitat causada per la deformació del material de l'objecte analitzat. Aquesta solució requereix que la galga es dissenyi especialment per el tipus i forma del material de la peça i tot i minimitzar els errors no els elimina.

Si es vol minimitzar encara més l'error introduït per la temperatura es pot utilitzar dues galgues extensiomètriques en el pont de Wheatstone. La configuració que s'utilitza és la col·locació d'una galga activa paral·lelament a la deformació causada per la força i una altra galga fictícia fixada transversalment. Per tant, la deformació deguda a la força aplicada no influeix aquesta segona galga tot i que qualsevol canvi de temperatura afectarà les dues galgues per igual i conseqüentment el Voltatge de sortida del pont de Wheatstone no canviarà perquè la relació entre les dues resistències romandrà igual.

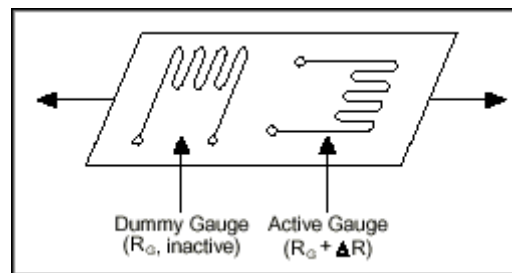


Figura 10: Ubicació de la galga activa i de la fictícia

Hi ha altres configuracions per augmentar la sensibilitat del pont anomenades circuit de mig pont o circuit de pont complet. La configuració de mig pont es basa en el fet que el voltatge de sortida dependrà de la relació que tinguin R_1/R_2 i R_3/R_4 de forma que si agafem les resistències d'una branca (R_1 i R_2 o R_3 i R_4) i les substituïm per 2 galgues en sentit oposat, obtindrem que la relació entre les dues resistències augmentarà el doble per la mateixa quantitat de deformació.

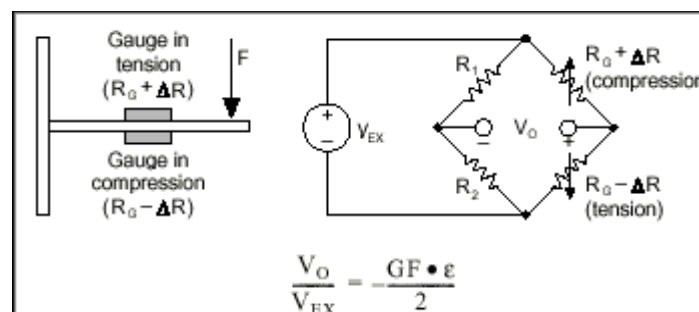


Figura 11: Configuració de mig pont

D'igual manera si en comptes de substituir les resistències d'una sola branca canviem les 4 resistències per galgues obtindrem la configuració del circuit de pont complet com podem veure a

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

la figura 12 aconseguint una fiabilitat millor.

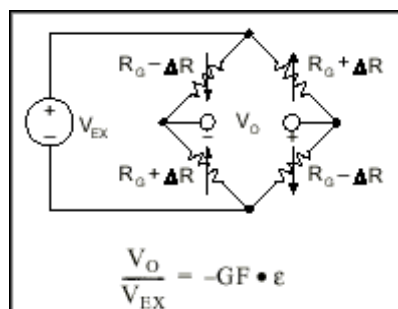


Figura 12: Configuració de pont complet

3 Pedal

3.1 Introducció

El pedal és el primer element del nostre sistema i des de on s'obtindran totes les dades que s'interpretaran. En un cas general el pedal podria ser qualsevol altre objecte que integrant-hi uns sensors de força poguéssim obtenir les dades dels esforços. D'aquesta manera i amb la mínima modificació del projecte es podria fer servir per un altre àmbit totalment diferent.

Per a la lectura de l'esforç que s'aplica al pedal, s'ha ubicat un sensor de força a cada un dels eixos que l'uneixen amb la corona de tal manera que només llegim la força perpendicular al moviment d'aquest quan està girant.



Figura 13: Direcció de la força mesurada per la galga

El sensor de força en el nostre cas serà una configuració del pont de Wheatstone on s'utilitzaran galgues extensiomètriques explicades anteriorment.

3.2 Estructura

Els pedals utilitzats per aquest projecte són pedals convencionals degudament preparats per tal de satisfer les necessitats del projecte. Per un costat tenim la integració d'un sensor de força per tal de mesurar l'esforç que s'exerceix sobre ell i per altre banda tenim la necessitat de ubicar tota la

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica
circuiteria necessària per fer el processat de la informació llegida del sensor i la seva posterior transmissió.

La configuració utilitzada per el pont de Wheatstone és el circuit de pont sencer cosa que ens permet obtenir una lectura de la galga amb molta tolerància a la temperatura.

3.3 Calibratge

Com hem citat anteriorment, els sensors només ens permeten obtenir una variació del voltatge que dependrà proporcionalment de l'esforç que s'aplica al pedal. Per tal de poder obtenir el valor d'aquesta força s'ha de ser capaç de tenir una relació entre el voltatge i la força i aquí recau la importància del calibratge del sensor.

Per calibrar el sensor de força es sotmet a varis esforços prèviament coneguts per tal d'analitzar la sortida i elaborar una gràfica discreta on es pugui veure la relació entre la força aplicada i el voltatge de sortida del sensor. A partir d'aquesta gràfica i mitjançant ponderacions entre els punts intermitjos podem arribar a estimar la força aplicada. L'error màxim que podrem obtenir dependrà del nombre de mostres que hem fet servir per la calibratge i el mètode utilitzar per obtenir la relació entre la força i el voltatge obtingut de la galga.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

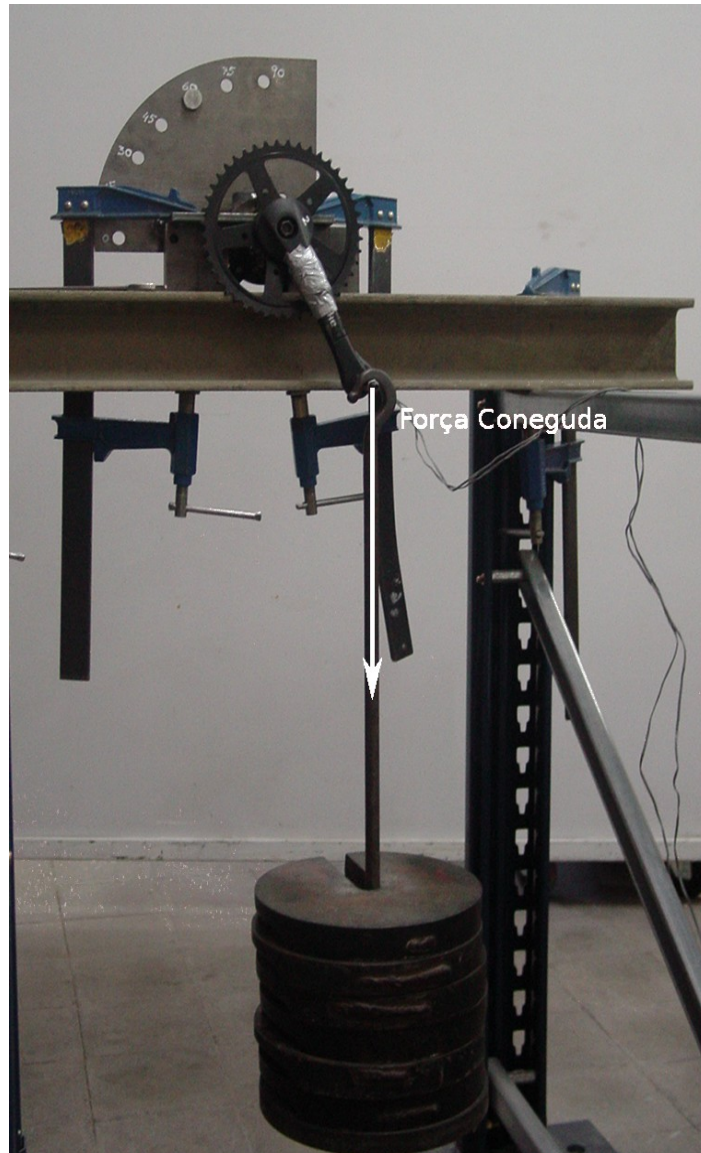


Figura 14: Banc de calibratge utilitzat per el departament de materials

El procés de calibratge ens bé donat per el departament de materials de l'UPC on han fet un conjunt de mesures per tal d'elaborar una taula que relacioni la força aplicada amb el valor llegit per el sensor de força.

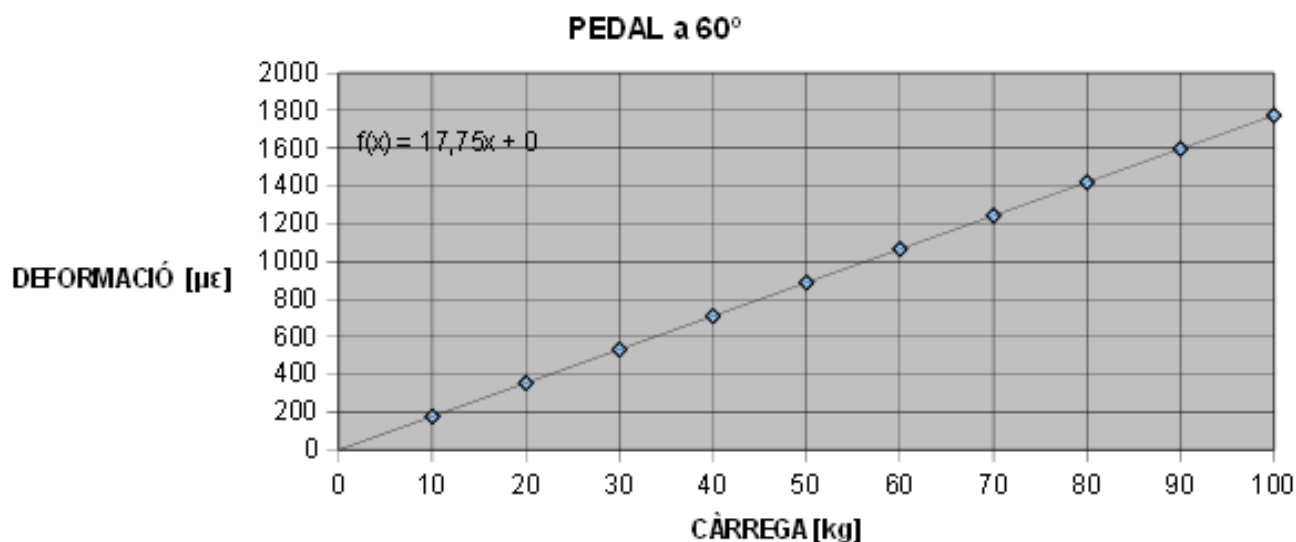


Figura 15: Gràfica de la calibració amb el pedal inclinat 60°

Si ens fixem en la gràfica de la figura 15 sembla que la deformació obtinguda per cada càrrega sigui uniforme i proporcional en tot el rang, però realment no és així. En aquesta gràfica no es pot apreciar massa bé perquè l'error que introdueix el sensor és massa petit. Aquest error que ve innat a la naturalesa de la galga no es pot minimitzar utilitzant una configuració de circuit de mig pont o pont complet però no podríem arribar a eliminar-lo.

3.4 Recalibrant al laboratori

Com ja sabíem, l'estructura interior del sensor és un pont de Wheatstone on es fa servir 4 línies, per tant, hem de saber quina és la correspondència dels cada sortida amb el pont de Wheatstone.

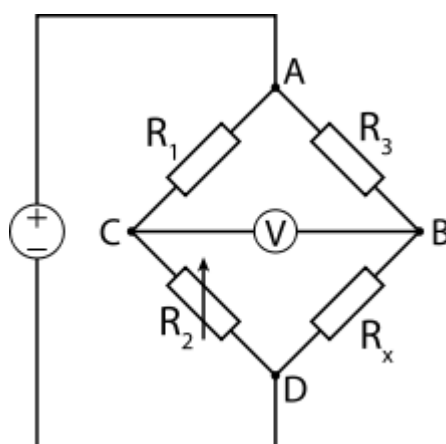


Figura 16: Pont de Wheatstone

Com podem observar a la figura 16, dos nodes són per la alimentació del sensor tant per el pol

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica positiu (A) com el pol negatiu (D) i dos més per la senyal de sortida dels sensors també tenint el component positiu i el negatiu (B o C segons els valors de les resistències). Coneixent el valors de les resistències i amb un multímetre per mesurar la resistència entre dos connexions podem arribar a deduir la correspondència entre el cablejat físic i les interconnexions del pont de Wheatstone.

Un cop conegudes les interconnexions del sensor procedirem a connectar-lo amb l'amplificador de la senyal programable (PGA) de la placa integrada cosa que ens permetrà obtenir les lectures del sensor. Aquestes lectures seran una interpretació digital del la senyal analògica que obtindrem del sensor, per tant, no podem relacionar-ho amb les taules de calibració que ens proporciona el departament de materials. Degut a aquest fet, hem de realitzar un recalibrat del sensor per tal de saber la relació de les microdeformacions, que és la unitat de mesura que utilitza el departament de materials en les taules que ens proporciona i la interpretació digital que llegim amb el microcontrolador.

El primer pas a fer és col·locar la finestra de treball del conversor analògic-digital (AD). El conversor utilitzat en aquest projecte ens proporciona una mesura de digital de 15 bits, és a dir, que el mínim valor analògic que pot llegir el representarà amb el nombre 0x0000 (0) i el màxim valor analògic que pot llegir el representa amb el nombre 0x7FFF (32767). Per tant, hem d'aconseguir que la força màxima que podem aplicar al pedal sigui llegida per el conversor com un valor inferior però proper a 0x7FFF i que la força màxima en el sentit oposat sigui llegida com un valor superior però proper a 0x0000. D'aquesta manera, optimitzarem el funcionament del conversor AD i obtindrem una lectura més precisa com es demostra en l'exemple següent:

Suposem que la força màxima positiva és 5000 N (500 Kg) i la força màxima negativa és -5000 N (-500 Kg)

Tenim que el sensor ha de treballar en un interval de 10000 N (1 tona)

Si tenim la lectura del sensor mal calibrada:

La força màxima negativa es converteix en el valor digital 0x0252 (594)

La força màxima positiva es converteix en el valor digital 0x0923 (2339)

La resolució mitja que obtindrem serà:

$$\frac{(2339 - 594)}{10000} \simeq 0,17$$

Per tant, tindrem 0,17 bits cada Newton de força aplicat de mitjana, és a dir, tindrem una precisió de 5,88 Newtons/bit.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Si tenim la lectura del sensor ben calibrada:

La força màxima negativa es converteix en el valor digital 0x0000 (0)

La força màxima positiva es converteix en el valor digital 0x7FFF (32767)

La resolució mitja que obtindrem serà:

$$\frac{(32767-0)}{10000} \simeq 3,3$$

Per tant, tindrem 6,5 bits cada Newton de força aplicat de mitjana, és a dir, tindrem una precisió de 0,15 Newtons/bit.

Clarament obtenim una precisió molt superior amb la lectura del sensor calibrada.

Per tal de poder calibrar la lectura del sensor, s'utilitza la PGA la qual s'ha de configurar amb diferents paràmetres abans de poder començar la lectura del sensor. Entrarem en més detall de la configuració de la PGA en l'apartat “Microcontrolador”.

Un cop hagem configurat correctament la finestra de treball del conversor, haurem de trobar la relació entre les taules facilitades per el departament de materials i el valor digital obtingut del conversor. Per fer això necessitem un banc de proves com tenien en el procés de calibratge, així que muntarem el mecanisme utilitzat al laboratori. Un cop tenim l'estructura muntada, procedirem a aplicar diferents forces aleatòries prèviament conegudes per tal de poder comparar el valor obtingut del conversor amb les taules.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

3.5 Metodologia per calcular la força

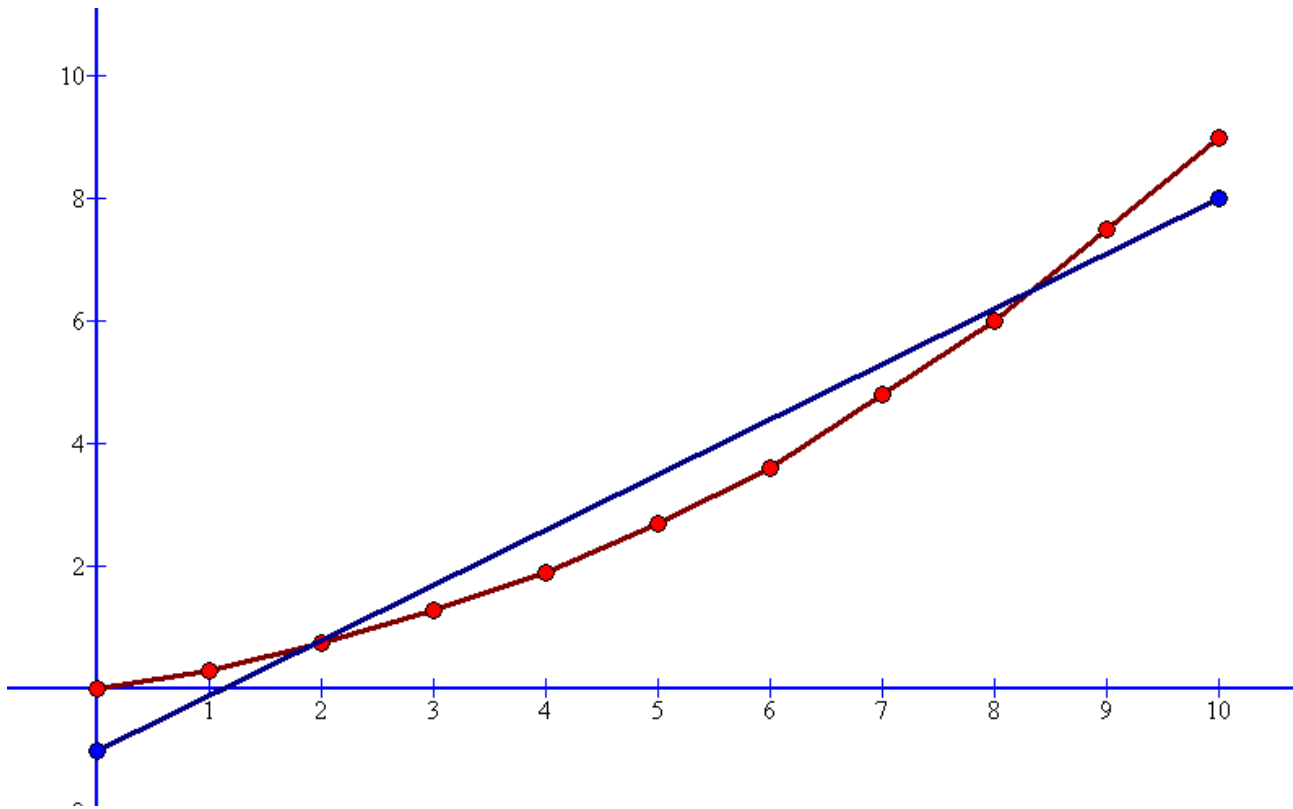


Figura 17: Recta que s'aproxima a la funció de sortida del pont de Wheatstone

Per tal de calcular la força aplicada en relació a la deformació del sensor de forma senzilla es fa servir una funció proporcional que serà semblant a la regressió lineal de la funció real. La funció proporcional utilitzada s'obté a partir de calcular la recta que minimitzi l'error total en cada punt de la gràfica.

A la figura anterior veiem representat un exemple on s'han magnificat els errors, per tal de poder apreciar la utilitat de la funció utilitzada per el càlcul de la força a partir de la deformació del sensor. En vermell podem observar la gràfica obtinguda a través del procés de calibratge i en blau la recta utilitzada per la transformació de la deformació a força.

Podem apreciar que l'error en diversos punts és negatiu i en altres positiu, d'aquesta manera podem repartir l'error al llarg de la funció i obtenir uns errors màxims més baixos.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

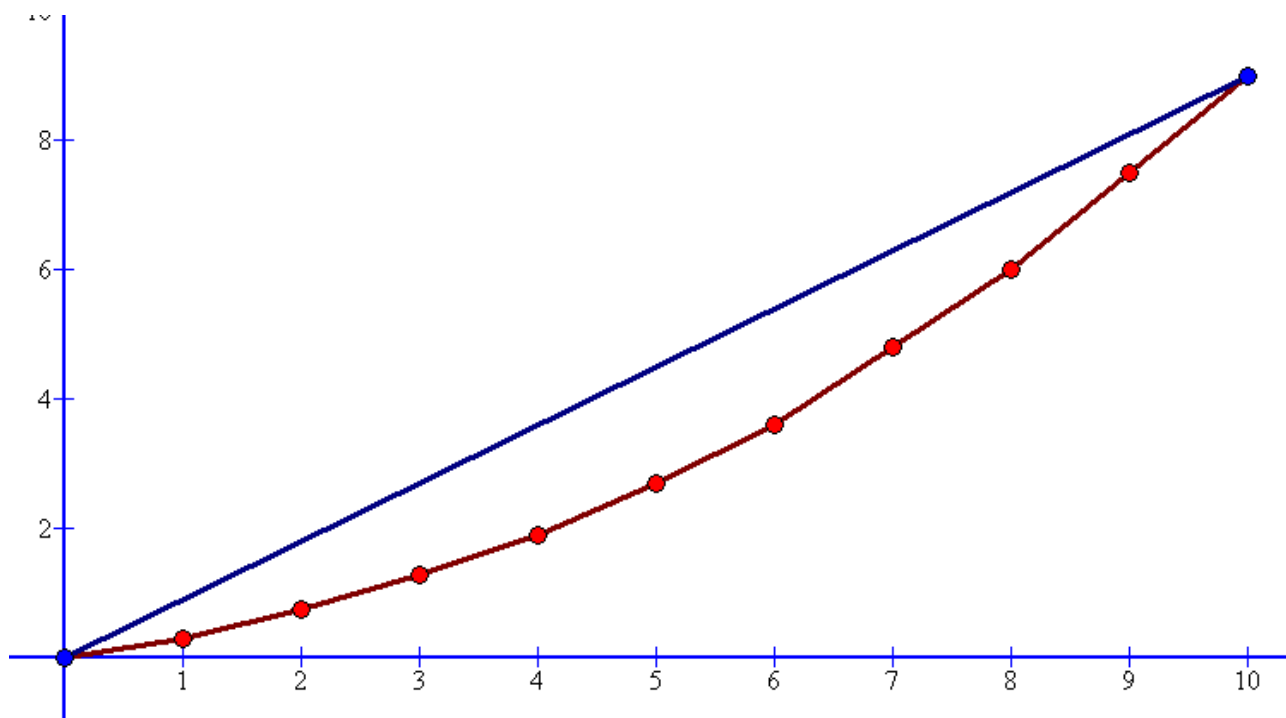


Figura 17: Recta que coincideix amb la funció de sortida del pont de Wheatstone per el punt de càrrega 0 Kg i el punt de càrrega 70 Kg

En cas d'utilitzar la funció de la figura anterior, que passa per el primer punt de la gràfica de calibratge i i per l'ultim punt, els màxims dels errors poden arribar a ser el doble de grans que en la funció utilitzada en l'exemple anterior.

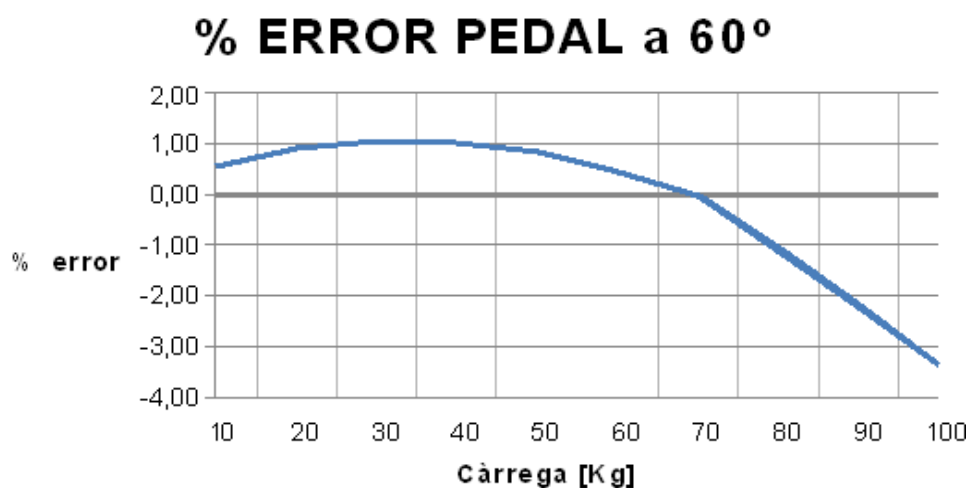


Figura 18: % d'error de la gràfica de la figura 15

En la figura 18 podem observar que l'error màxim pot arribar a més del 3% si apliquem 100 Kg de força, en canvi, si exercim una força entre 0 i 80 Kg veiem que l'error és molt més acceptable arribant a un 1% d'error totalment assumible.

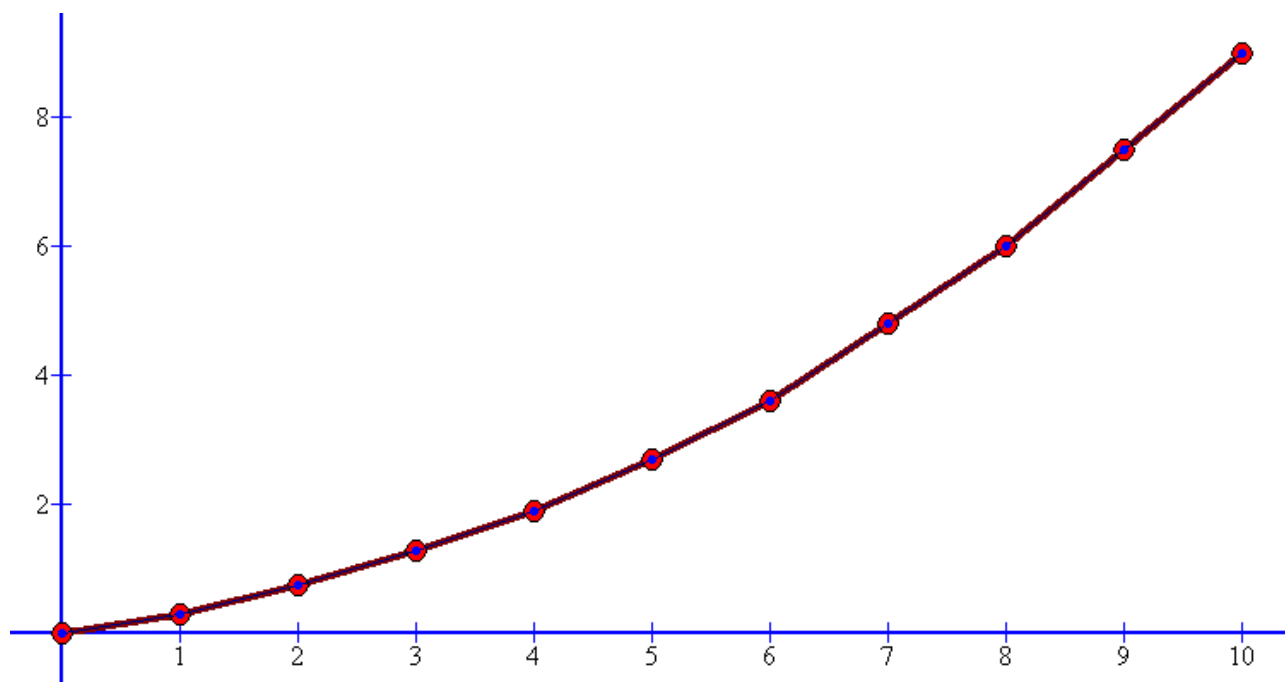


Figura 19: Separar la recta d'aproximació a la funció per trams

Un altre forma d'obtenir la força aplicada en relació de la deformació del sensor de forma més exacte, seria considerar cada dos valors de càrrega de la gràfica com una gràfica independent com està representat en la figura 19. En aquest cas reduiríem l'error màxim significativament i sense augmentar massa la complexitat del calcul de la força. D'aquesta manera si volguéssim calcular la càrrega produïda per una deformació de $100\ \mu\epsilon$ (microdeformacions) utilitzant la gràfica de la figura 15 agafaríem l'interval de la funció entre els valors de 0 i 10 Kg de càrrega. Podem observar que utilitzaríem la mateixa funció de la gràfica ja que per aquest interval és lineal, per tant, no hem de fer cap procés anterior . D'aquesta mateixa manera procediríem a calcular qualsevol valor.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

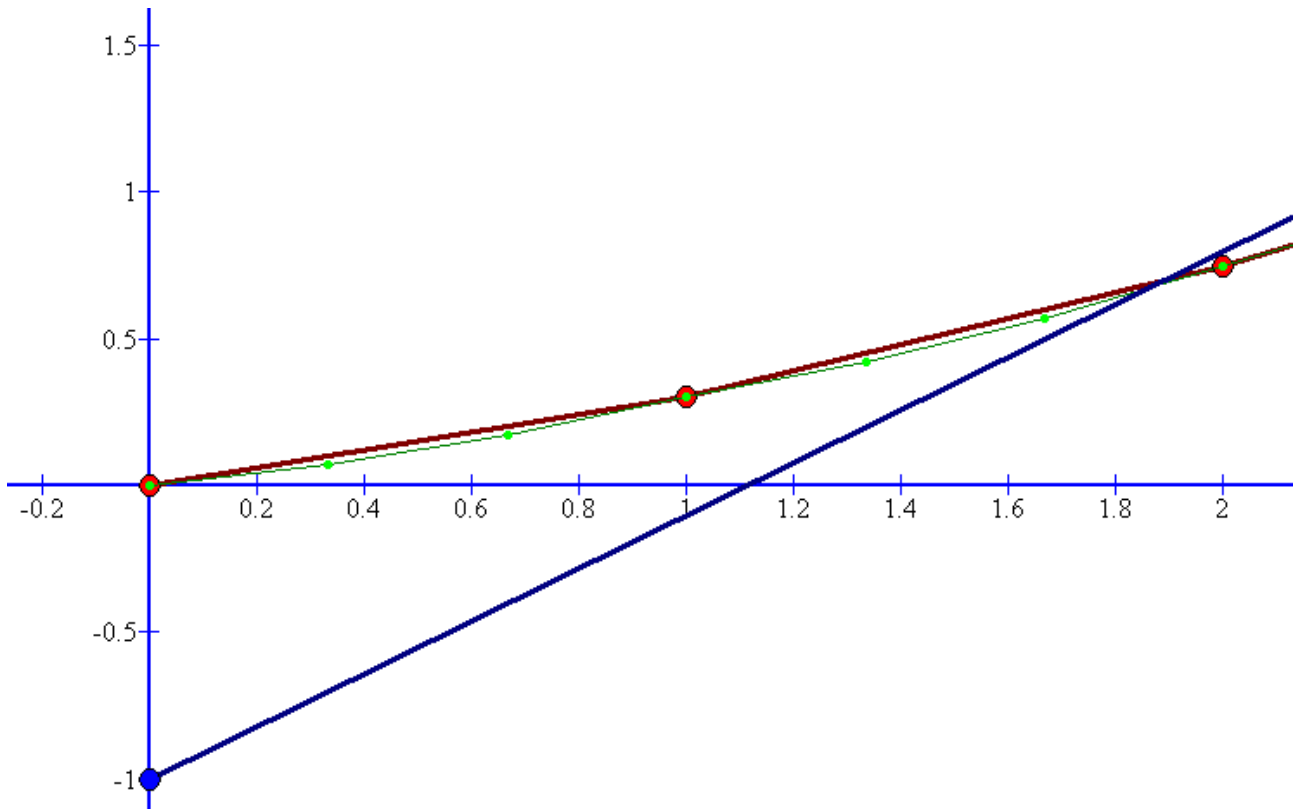


Figura 20: Comparació ampliada del mètode la figura XXX i la figura XXX

Mitjançant aquest procediment podem deduir que la gràfica de l'error seria del 0 % en tot el seu domini perquè la funció utilitzada per el càlcul de la força és la mateixa que la funció obtinguda pel calibratge del sensor. De totes maneres s'ha de tenir en compte que la funció obtinguda del calibratge és aproximada i per tant, continuaria havent-hi error en el càlcul de la força, tot i que podem afirmar amb total seguretat que aquest error serà molt més petit que l'error obtingut mitjançant el primer procediment explicat. En la figura 20 podem observar la comparació entre diferents metodologies explicades on s'aprecia molt clarament la diferencia de precisió entre una i altre. En color verd hi ha una gràfica aproximada a la gràfica real del sensor, en color vermell tenim el mètode A i en color blau tenim el mètode B. Com podem observar el mètode A té una precisió molt més elevada en comparació amb el mètode B tot i tenir un grau similar de dificultat de procés de càlcul.

4 Placa de desenvolupament

4.1 Introducció

En aquest projecte partim de un disseny d'una placa PCB que s'havia utilitzat amb anterioritat per tal de mesurar la força d'un sensor. Reutilitzarem aquesta placa i anirem fent les modificacions que creiem oportunes per tal de adaptar-la a les nostres necessitats.

4.2 Adaptació de la placa

4.2.1 Introducció

El punt de partida d'aquest projecte ha sigut la placa PCB esmentada amb anterioritat del qual hi podíem aprofitar diferents components. Però ens veiem en l'obligació de replantejar-nos la seva estructura per poder-la adaptar a les nostres funcionalitats sense modificar en accés els seus components, ja que dintre de la fase de desenvolupament, la finalitat és arribar a construir un prototip funcional amb les mínimes despeses, tant de materials com de temps. Explicarem cronològicament en els següents apartats com hem anat adaptant la placa obtinguda del projecte anterior fins a tenir un prototip adaptat a les nostres necessitats.

4.2.2 Estat inicial

Com a base per començar a treballar, hem partit per un costat de la placa amb el circuit imprès sense cap component soldat i els esquemes dels seus circuits. Un cop amb aquest material hem hagut de familiaritzar-nos amb el projecte i mitjançant els esquemes i la pròpia placa deduir la utilitat de cada component del que consta.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

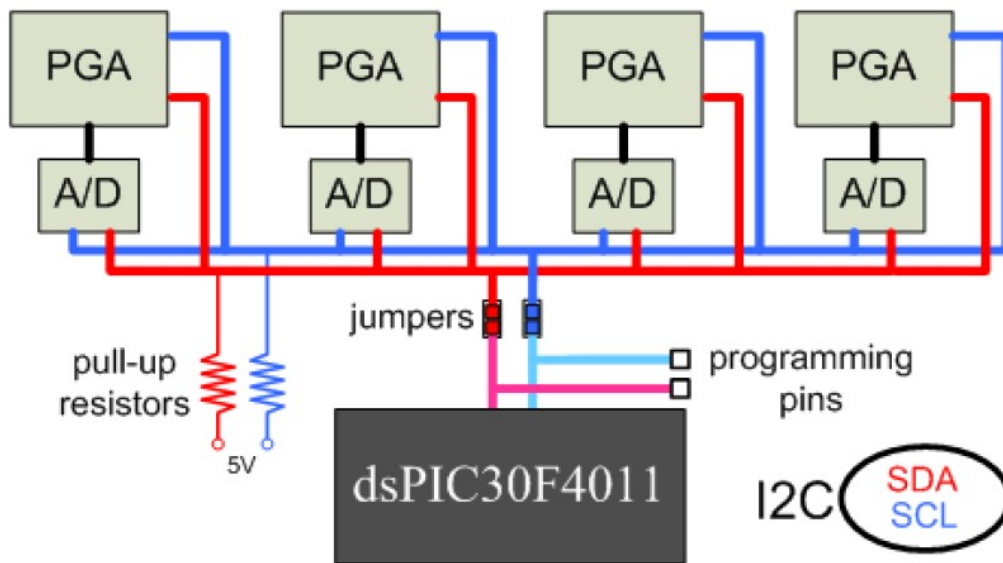


Figura 21: Estructura esquemàtica de la comunicació amb el bus I2C

4.2.3 Components de la placa

El primer pas a fer és analitzar cada component de la placa així estarem capacitats per poder decidir quins seran els que podrem reutilitzar i quins no farem servir.

4.2.3.1 Microcontrolador

El cor de la placa és el microcontrolador que s'ha utilitzat el model dsPIC30F4011 ja que les seves prestacions són altes, permetent una freqüència de treball elevada que es tradueix a una execució ràpida del codi i disposa de molta quantitat de memòria.

4.2.3.2 Oscil·lador

La freqüència de treball utilitzada és de 128 Mhz mitjançant un cristall de quars extern de 8 Mhz multiplicada per un factor x16.

4.2.3.3 Busos de transmissió de dades

Aquest microcontrolador es comunica mitjançant dos tipus de bus de dades, el bus CAN que serveix per comunicar-se amb la unitat central i el bus I2C que serveix per comunicar-se amb els integrats que permeten la lectura dels sensors.

4.2.3.4 Tractament de la senyal

Per tal de tractar la senyal obtinguda del sensor s'ha utilitzar una PGA i un convertidor AD.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Aquests dos components amplifiquen la senyal mitjançant amplificadors operacionals i llegeixen l'amplitud d'aquesta convertint-la en un valor digital. Posteriorment aquest valor es podrà consultar amb el microcontrolador per tal de poder treballar-hi.

4.2.3.5 Regulador de tensió

La placa tenia integrat un regulador de tensió a 5V per tal de poder-la alimentar amb una font externa de més alt voltatge. Aquest regulador tenia la funció de reduir el voltatge a 5V i a estabilitzar-lo perquè el circuit integrat treballi amb una font estable.

4.2.3.6 Programació In-Circuit

Els microcontroladors de microchip, com és el cas del nostre, permeten la programació d'aquest sense necessitat de desconnectar-lo del circuit. Aquesta programació requereix la connexió d'una serie de pins directament a un mòdul In-Circuit Debugger (ICD) de la marca microchip.



Figura 22: Dispositiu ICD2 de Microchip

4.2.4 Components reutilitzables

Un cop hem analitzat els components dels que disposa la placa, estem preparats per poder decidir quins components podrem reutilitzar. Aquesta tria no serà buscant la configuració òptima de components per al projecte, sinó que la durem a terme mirant de reduir al màxim els canvis que hagem de fer sobre la placa de desenvolupament.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

4.2.4.1 Microcontrolador

Com hem explicat anteriorment el component escollit és àmpliament potent, i per tant, té un consum elèctric bastant alt. Per el projecte que estem fent no és el microcontrolador que s'haguéssim escollit però ens proporciona totes les funcionalitats que necessita el projecte.

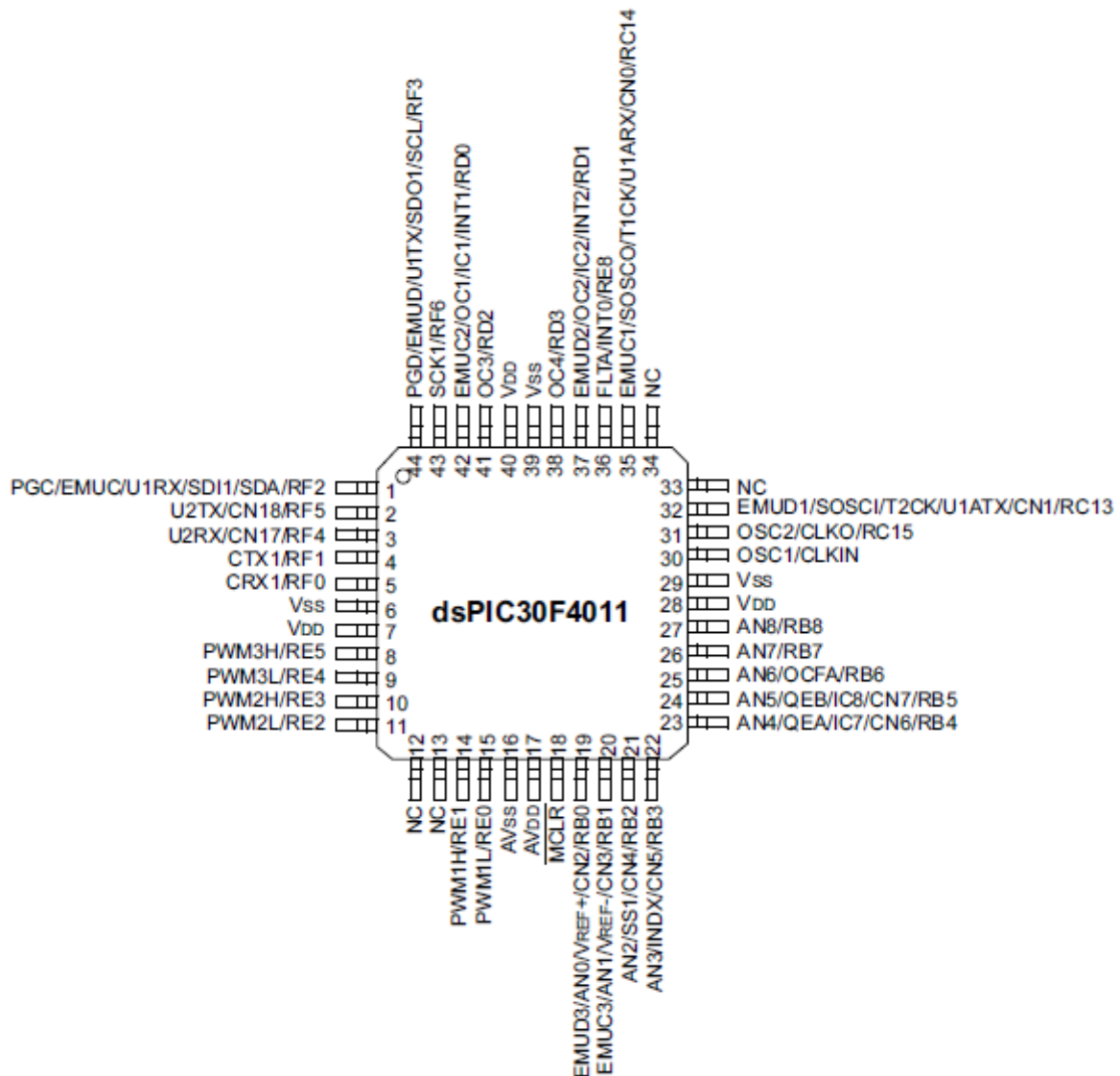


Figura 23: Diagrama dels pins del dsPIC30F4011

4.2.4.2 Oscil·lador

La freqüència de treball de la placa anterior era de 128MHz, aquesta velocitat s'aconseguia multiplicant la freqüència de l'oscil·lador internament en el microcontrolador 16 vegades. Desactivant aquest multiplicador aconseguim una freqüència de 8MHz, xifra que ens sembla correcta per la quantitat d'operacions que ha de processar el microcontrolador. Reduint la freqüència de treball hem aconseguit reduir el consum energètic del circuit de 150 mA a 20 mA, de forma que, en les mateixes condicions el circuit podrà funcionar 7,5 vegades més temps.

4.2.4.3 Busos de dades

Seguirem treballant amb el bus de dades I2C ja que l'utilitzarem per poder configurar i obtenir

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica la informació de la PGA i el convertidor AD. Utilitzarem una velocitat de transmissió de 100KHz perquè l'ample de banda de la informació a transmetre no serà un problema.

4.2.4.4 PGA

La senyal de sortida del sensor, prové d'un pont de Wheatstone. Com ja sabem, aquesta senyal és molt feble i s'ha d'amplificar per tal de poder fer una lectura amb la màxima resolució possible. La utilització d'amplificadors de guany programables (PGA) ens facilita enormement tant el procés d'obtenció de la senyal gràcies a les seves possibilitats de configuració com la simplificació de la circuiteria de la placa.

La senyal d'entrada a la PGA és una senyal diferencial, és a dir, que té un component positiu i un component negatiu que viatgen en diferents cables. Aquestes tipus de senyals tenen l'avantatge que són molt robustos de cara a les interferències externes ja que aquestes modificarien els dos voltatges per igual. Per tant, el voltatge resultant calculat a partir de la resta dels dos voltatges romandria immune a les interferències.

La sortida de la PGA però no és diferencial ja que no haurà de viatjar grans distàncies amb el perill de patir interferències.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

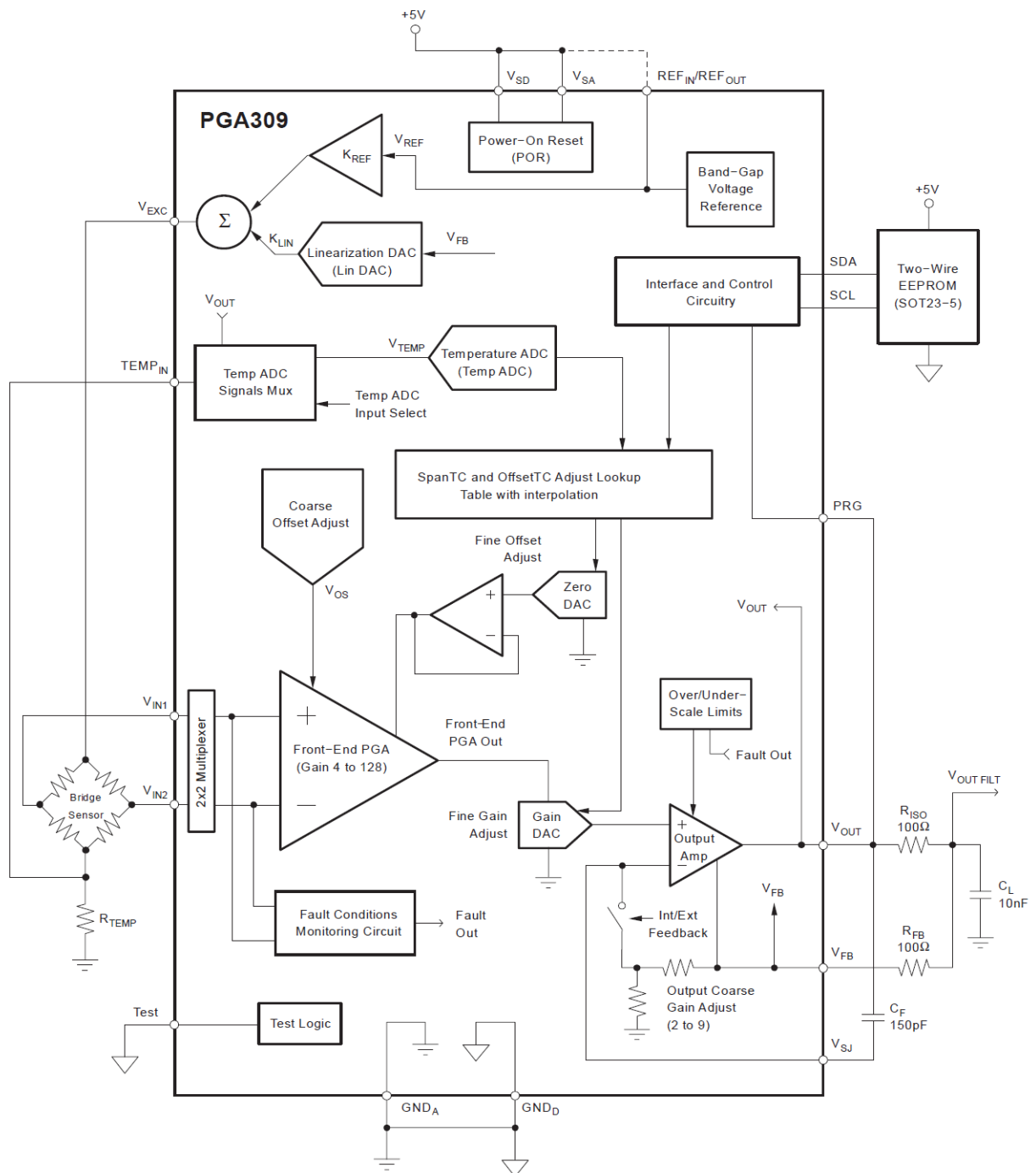


Figura 24: Diagrama simplificat de la PGA309

4.2.4.5 Convertidor Analògic-Digital

El convertidor A/D utilitzat ens aporta per una banda una conversió de resolució fins a 16 bits i per altre banda, la possibilitat de poder amplificar la senyal d'entrada al conversor abans de processar la senyal. Testejant el funcionament de la PGA hem vist que el mòdul de la PGA no era capaç d'augmentar la senyal fins a uns valors òptims perquè puguem convertir la senyal amb prou

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica resolució.

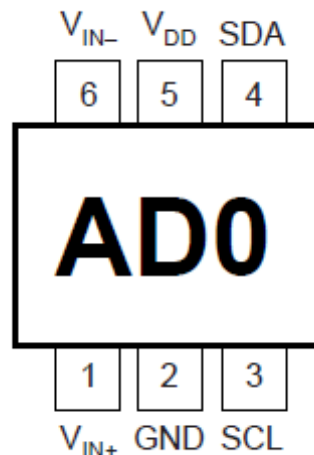


Figura 25: Diagrama dels pins del convertidor ADS1100

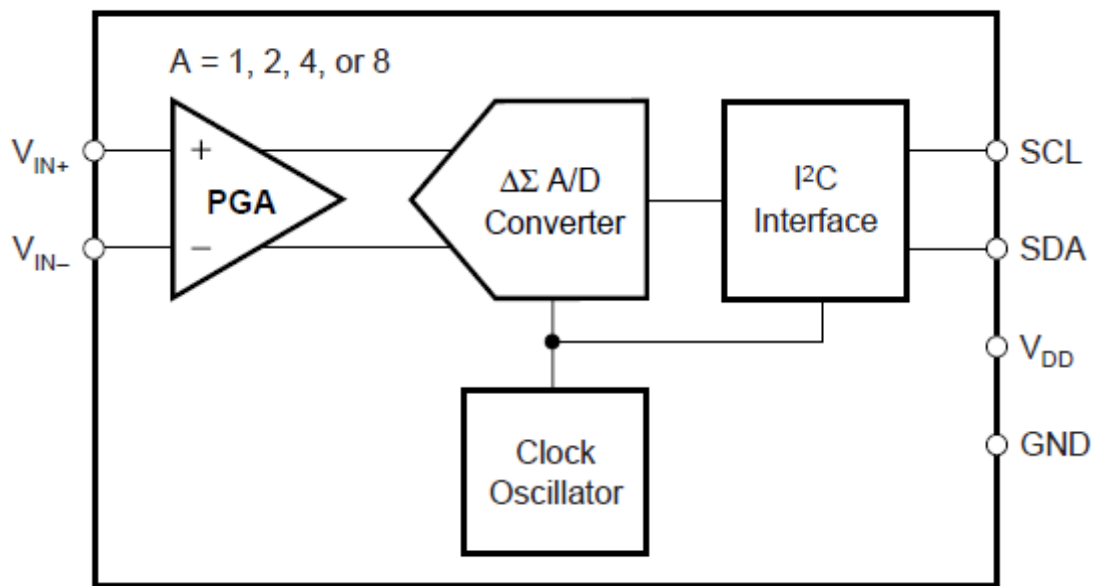


Figura 26: Diagrama simplificat intern del convertidor ADS1100

Com podem veure en la figura 26 el convertidor AD té integrat un mòdul amplificador de guany programable que permet tractar la senyal abans de la seva lectura. Aquest PGA només ens permet configurar el guany en 4 factors; $\times 1$, $\times 2$, $\times 4$ i $\times 8$. Per tant, veurem quin factor ens aproxima a la senyal que desitgem i mitjançant la PGA309 externa del que disposem, acabarem de refinar-la per tal d'aconseguir una lectura més precisa.

La senyal d'entrada del convertidor podem veure que és diferencial ja que té el component positiu i el component negatiu. Però això entra amb conflicte amb el que hem dit abans que la senyal de sortida de la PGA no era diferencial. Aquesta incongruència se soluciona agafant la senyal

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica de sortida de l'amplificador de guany programable com a component positiu i la senyal de terra com a senyal negativa.

4.2.5 Components a afegir

4.2.5.1 Bus serie

Com hem explicat anteriorment el mode de transmissió escollit per la placa inicial era el bus CAN de forma que no ens servirà i haurem d'aconseguir incorporar la transmissió UART a la placa perquè aquest protocol és el que farem servir en la nostre placa. Per tal de poder aconseguir transmetre dades per UART haurem de connectar els pins per els quals el microcontrolador transmet les dades.

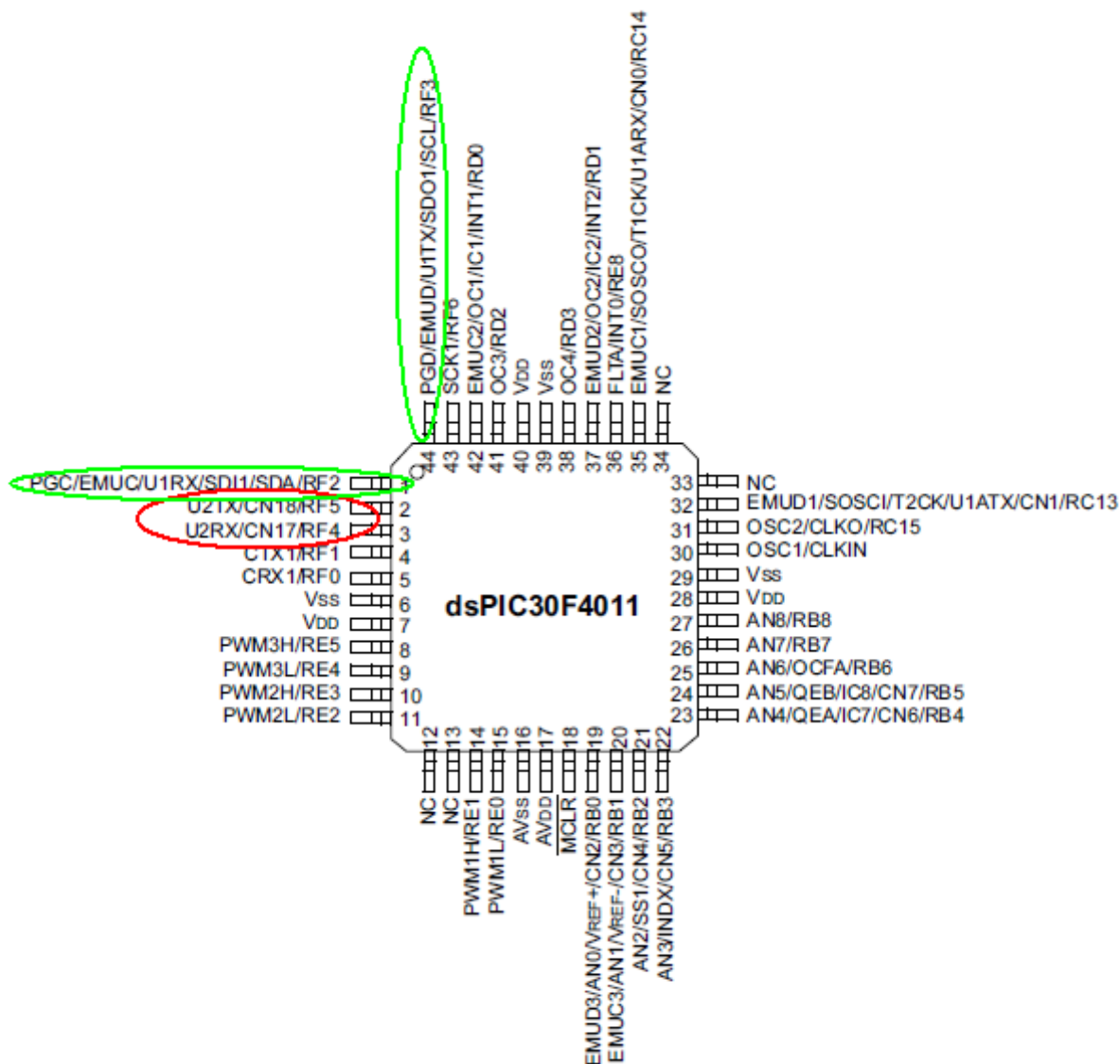


Figura 27: Diagrama dels pins del dsPIC30F4011 amb els ports UART ressaltats

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Com podem observar en l'esquema del microcontrolador usat veiem que tenim dos mòduls de transmissió, UART1 i UART2. L'UART1 utilitza els pins 1 i 44 per rebre (U1RX) i enviar (U1TX) respectivament i l'UART2 utilitza els pins 2 i 3. Si ens fixem en l'ús que en feien de les potes del micro a la placa, veiem que tant la 1 com la 44 s'utilitzen per el bus de dades I2C i la programació d'aquest inCircuit i per altre banda tenim que tant el pin 2 com el 3 queden lliures. Veiem doncs que la única opció que tenim és utilitzar el modul UART2 i pontejar les dues potes per poder treballar-hi.

4.3 Firmware

El firmware forma una part molt important per assolir els objectius del nostre projecte. Com hem dit anteriorment, un dels pilars mestres del nostre projecte és el baix consum del sistema que permetrà que aquest funcioni de forma autònoma durant mesos amb una sola pila botó. Per tant, de la mateixa manera que és molt important escollir correctament els components electrònics que utilitzem, també hem d'aconseguir el codi que executa el microcontrolador estigui optimitzat per tal de consumir el mínim de recursos.

Després de controlar i anar comprovant el percentatge de temps que tardava en executar cada part del codi, s'ha anat optimitzant al màxim cada funció. Un cop optimitzat, hem pogut comprovar que el que consumeix més quantitat de recursos és la transmissió de dades a través de l'UART, ja que degut a estar en fase de desenvolupament, ens veiem obligats a limitar la velocitat de transmissió a 1Kbps per raons que explicarem més endavant a l'apartat 5.4. Degut a aquesta baixa velocitat de transmissió, per transmetre la mateixa quantitat de bits tardem molt més temps.

A continuació veiem les tasques principals que realitza el firmware de la placa:

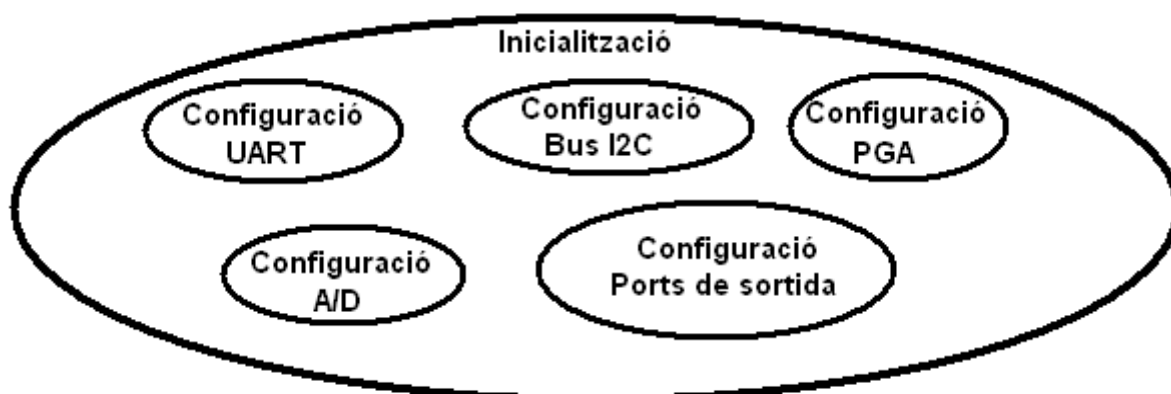


Figura 28: Processos necessaris en la inicialització del firmware

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

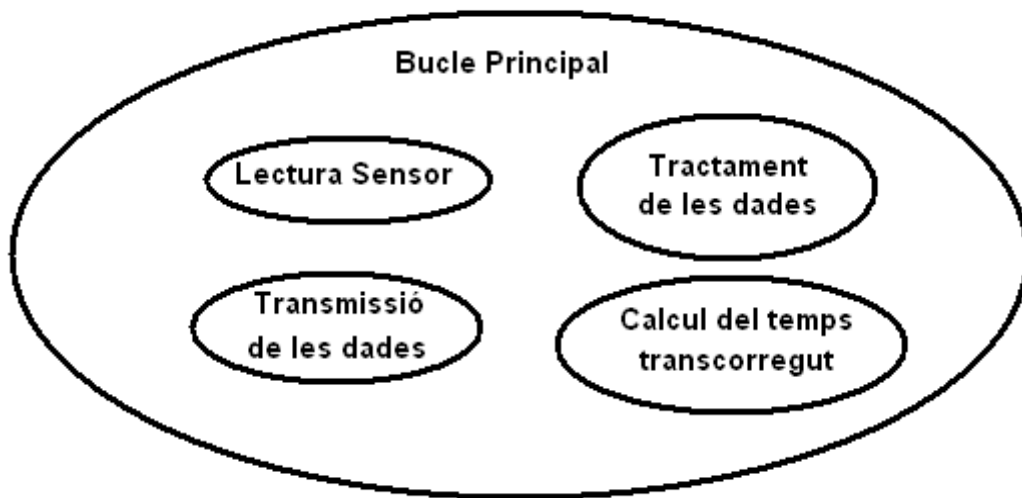


Figura 29: Processos necessaris en el bucle principal del programa

4.4 PGA309a

Un amplificador de guany programable (PGA) és un amplificador electrònic que permet ajustar una senyal de baix voltatge perquè pugui ser tractada. Les possibilitats de condicionament de la senyal de la PGA són molt altes, aquest permet l'amplificació de la senyal analògica, ajustar l'offset i corregir-hi interferències.

El primer pas que haurem de realitzar serà tractar la senyal que ens arribarà del sensor. Aquesta senyal és de l'ordre de miliVolts mentre que el conversor analògic digital (AD) que utilitzarem per llegir aquesta senyal, treballa amb un rang entre 0 i 5 volts per tant haurem d'amplificar la sortida dels sensors perquè s'ajusti més al rang de treball. Un cop amplificada, el procés de tractament de la senyal requerirà també ajustar l'offset d'aquest perquè puguem acabar d'ajustar-la al rang de treball del convertidor.

Per poder amplificar la senyal utilitzarem el chip integrat PGA309a que ens permetrà incrementar el voltatge i d'aquesta manera poder obtenir una senyal entre 0 a 5 volts que és el rang en que funciona la nostra placa.

4.4.1.1 Comunicació

L'integrat que utilitzem com a amplificador de guany programable ens permet utilitzar diferents formes de programar-lo. Es pot utilitzar el pin PRG per d'al d'utilitzar l'interfície "One-Wire" o utilitzar la comunicació pel bus I2C utilitzant els pins SDA i SCL. Degut a que ja necessitem de l'existència del bus I2C per comunicar-nos amb el convertidor AD, la comunicació

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica amb el PGA es farà mitjançant el bus I2C. Aquest bus es farà servir tant a l'hora de programar l'integrat amb els registres pertinents com per llegir llegir els paràmetres que ens ofereix l'integrat com pot ser la temperatura, que pot ser útil per calcular l'error afligit per aquesta ens els valors de les resistències usades.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

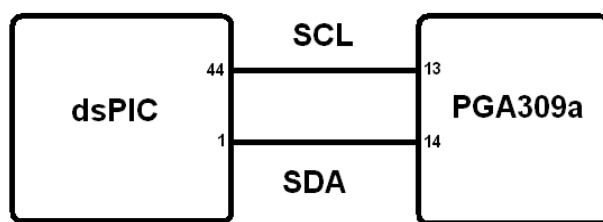


Figura 30: Connexions del bus I2C entre el microcontrolador i la PGA.

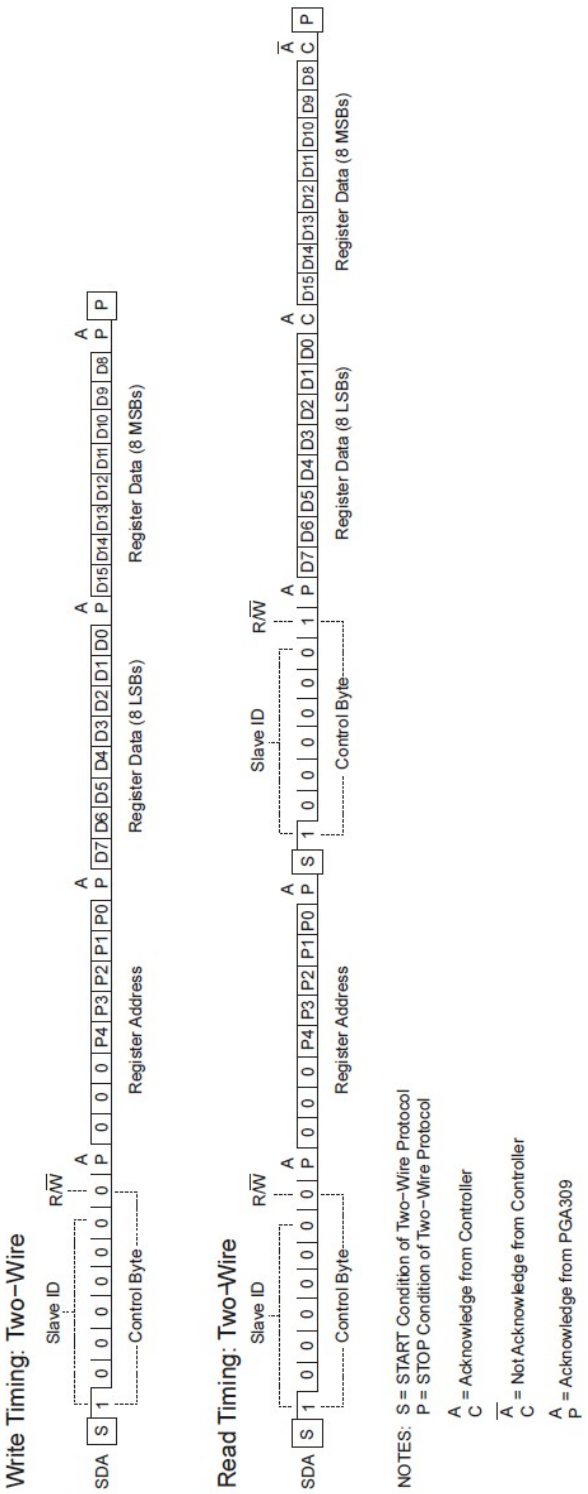


Figura 31: Proces de lectura i escriptura d'un registre de la PGA

Per tal de llegir o escriure un registre de la PGA s'inicia la transacció amb el bit d'inici

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica estàndard predefinit per el bus I2C. Un cop iniciada la transacció hem d'enviar la direcció de 7 bits de la PGA (1000000) seguit d'un "0" que significa escriptura. El següent byte que enviem per el bus serà l'adreça del registre en qüestió. Un cop arribat en aquest punt, la PGA coneix l'adreça del registre en que volem treballar però a partir d'ara es realitzaran diferents accions si volem escriure un registre o si volem llegir-lo. Després de cada byte enviat per el controlador, la PGA envia un bit ACK per tal d'indicar que ha rebut el byte mentre que després de cada byte que envia la PGA, aquesta espera un bit ACK enviat per part del controlador.

4.4.1.1.1 Escriptura d'un registre

Un cop en el punt anterior, per escriure un registre simplement s'ha de escriure el valor d'aquest a través del bus I2C. Com que el registre és de 16 bits i les dades enviades per el bus I2C estan agrupats de 8 en 8, s'han d'enviar 2 bytes en codificació Little-Endian, és a dir, primer s'envia el byte de menys pes (LSB) i finalment el byte de més pes (MSB).

4.4.1.1.2 Lectura d'un registre

Un cop s'ha enviat l'adreça del registre, es torna a iniciar la transacció amb la PGA amb el bit d'escriptura/lectura en mode "1". D'aquesta manera indicarem que volem que la PGA en envii els valors del registre indicat anteriorment. La PGA ens enviarà els 2 bytes del contingut del registre codificats en Little-Endian.

4.4.1.2 Configuració

El PGA és un integrat programable que permet la seva configuració mitjançant l'escriptura dels seus registres de setup. Els registres que utilitzarem són:

4.4.1.2.1 Registre 0: Registre de temperatura

Ens permet obtenir la lectura del sensor de temperatura intern. Aquest sensor ens pot ser útil si l'integrat es troba aprop de la galga per tal de saber quina afecte té la temperatura sobre aquesta.

4.4.1.2.2 Registre 4: Ajust de l'offset i el guany

Aquest registre ens permet controlar tant el guany de la senyal de sortida respecte la senyal d'entrada tant l'offset d'aquesta per poder configurar correctament la finestra de treball. Per tant, serà el registre més important per tal de controlar el proces de tractat de la senyal.

4.4.1.2.3 Registre 6: Control de la temperatura

La lectura de la temperatura té un grau de configuració molt alt. Ens permet escollir si volem el sensor intern o un extern, els bits de resolució per dur a terme la lectura i el temps entre lectures.

4.5 Modul AD

El següent pas a la amplificació de la sortida dels sensors és poder convertir aquesta senyal a un valor binari per poder treballar-hi digitalment. Aquesta tasca la pot fer el modul AD (convertidor Analògic-Digital) que té integrat el mateix Microcontrolador però obtenim mesures menys precises ja que necessitem un últim pas d'amplificació que no aconseguim amb el PGA.

L'integrat utilitzat per digitalitzar la senyal provinent del PGA ha sigut el ADS1100. Aquest xip és un convertidor analògic-digital d'alta precisió, amb autocalibrat i que ens permet la conversió de la senyal analògica amb una resolució de 16-bits en un encapsulat de sols 6 pins. Les conversions són fetes utilitzant el voltatge d'alimentació com a voltatge de referència per fer les conversions, on el seu rang pot anar dels 2.7 Volts a 5.5 Volts. El ADS1100 pot realitzar fins a 128 mostres per segon sacrificant per això bits de resolució, si es volen aprofitar tots els bits que ens ofereix l'integrat, haurem de baixar la velocitat de mostreig a 8 mostres per segon. Conté en el seu interior un PGA molt simple on simplement ens deixa escollir un augment de 1, 2, 4 o 8 augments.

El ADS1100 està dissenyat per aplicacions que necessiten un alt grau de precisió i on el poc espai i el consum reduït són requisits importants.

4.6 Tractament de les dades

El tractament de les dades rebudes dels sensors es farà en dos etapes, la primera es durà a terme en el mateix Microcontrolador que recull les dades, mentre que la segona etapa es realitza en el dispositiu mòbil on es mostraran.

En el microcontrolador es recullen les dades dels sensors digitalitzats i es realitza un control per descartar possibles errors en les lectures, aquest control consisteix en la comprovació de valors excèntrics, és a dir, si hi ha valors que passen de un màxim a un mínim en un instant es descartarà la lectura. Arribat aquest punt el valor llegit és el voltatge de sortida del sensor degudament tractat de forma que l'haurem de convertir en un valor de força utilitzant les taules obtingudes en el procés de calibratge. Per calcular aquesta força s'agafaran els dos valors coneguts més pròxims al voltatge obtingut i es ponderarà per tal d'aconseguir la força equivalent amb la major precisió possible.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

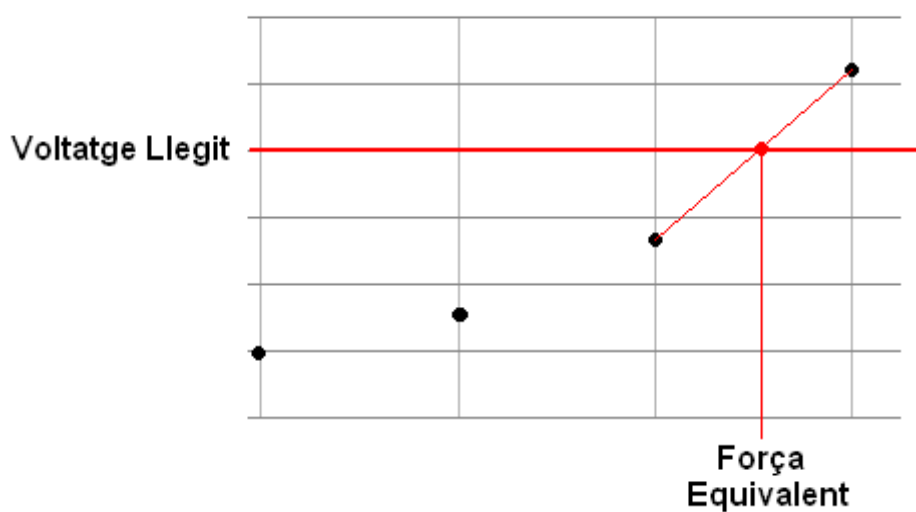


Figura 32: Càlcul de la força equivalent al voltatge llegit de la galga

En el dispositiu mòbil el tractament que es fa a les dades és més encarat a estadístiques calculant el valor mig de la força realitzada, el tant per cert de força que es fa amb cada pedal i el total de força aplicat.

Per tal de que les dades llegides siguin correctament interpretades, posarem un mínim de 8 mesures per cada volta de pedal.

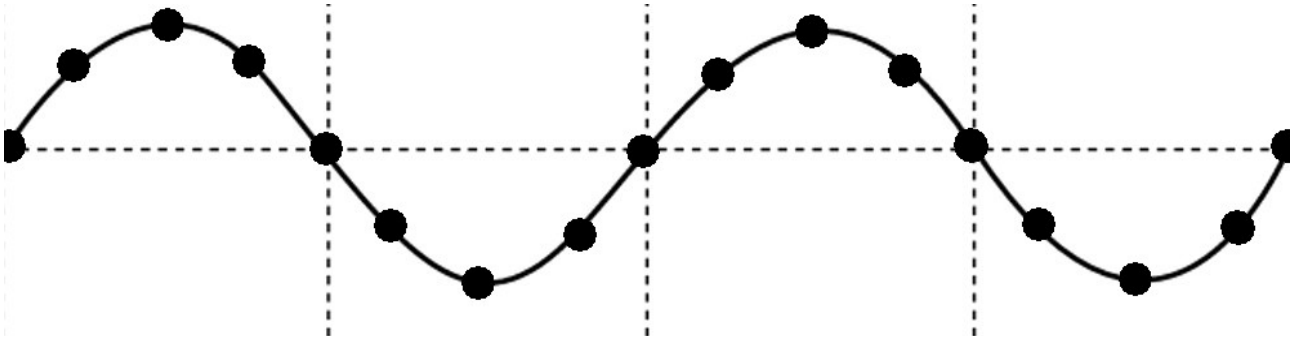


Figura 33: Representació de 8 mostres per cada volta de pedal

Considerant que les voltes per minut que fa una persona pedalant normal són 70, suposem que com a màxim farà 120 rpm. A aquesta velocitat, el pedal farà 2 voltes per segon i per tal de capturar 8 mostres per cada volta haurem de tenir una freqüència de mostreig de 16 mostres per segon.

4.7 Consum de la placa

Un punt molt important en aquest projecte és el consum energètic de la placa integrada que anirà situada al pedal. Aquesta restricció es deguda a la impossibilitat de portar cables d'alimentació al pedal de la bicicleta i a l'espai disponible en el pedal que ens obliga a la utilització d'una pila botó per l'alimentació del nostre integrat.

Degut a que el PFC que hem realitzat ha dissenyat un sistema de desenvolupament que servirà com a base a altres projectes i hem centrat més els esforços a incorporar tecnologies noves per oferir més diversitat d'opcions, no hem pogut aprofundir en direcció a l'estalvi energètic. De fet, les tasques realitzades en aquest sentit són l'optimització de funcions perquè s'executin més ràpidament, el càlcul aproximat del consum elèctric d'alguns components com són l'especificació Bluetooth o la transmissió mitjançant xips de radio freqüència a 433MHz i l'elecció de components de baix consum que explicarem a l'apartat 6.1.

5 Comunicació sense fils

5.1 Introducció

Com hem comentat al llarg de la memòria el fet d'haver situat els sensors i la circuiteria per mesurar l'esforç realitzat per l'usuari de la bicicleta en els pedals ens ha fet optar per realitzar les comunicacions a través d'un medi sense fils. La connexió s'hagués pogut fer a través de cablejat però això ens obligava a posar escombretes en els elements mòbils cosa que dona menys fiabilitat. Per altre banda el fet d'aïllar el circuit de la resta de la bicicleta tant en termes d'alimentació com en termes de comunicació ens dona flexibilitat a l'hora d'incorporar aquest pedal en altres entorns.

5.2 Comparació de les tecnologies

Un cop decidit que volem transmetre les dades dels esforços a través d'un medi sense fils hem hagut d'avaluar les diferents alternatives que s'ens ofereixen per poder escollir les que més s'adeqüen en el nostre cas. Avancem que el consum energètic de cada alternativa serà un punt clau a l'hora d'escollir quina serà la tecnologia a utilitzar.

5.2.1 Infraroig

Aquesta tecnologia esta una mica desfasada per transmissió de dades entre dos dispositius mòbils perquè requereix que el receptor i l'emissor tinguin connexió òptica directe, per tant, s'han d'encarar d'una manera específica perquè es puguin comunicar amb èxit i això limita molt el seu ús a àmbits molt específics.

El funcionament és el següent, un emissor led transmet les dades mitjançant impulsos lumínics representant els 0 i els 1 binaris amb intermitències d'aquests segons la codificació definida. Per part del receptor tenim un sensor de llum que ens capta les emissions del led. Com el mateix nom indica s'utilitza llum infraroja perquè la llum ambient no interfereixi amb la transmissió de les dades. Un altre avantatge d'utilitzar llum infraroja és que aquesta llum és invisible a l'ull humà i així s'aconsegueix un procés totalment transparent a nosaltres, de totes maneres també es podria implementar amb altres tipus de llum visibles a l'ull humà. Un exemple molt estès d'aquesta tecnologia són els comandaments a distancia de la televisió i s'utilitza perquè te un consum molt baix i un cost baix.

El consum de l'infraroig depèn únicament del consum del led i de la porció de temps que

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica aquest està encès. El consum d'un led de baix consum és de 3mW i tenint en compte que la meitat del temps estarà apagat degut a les intermitències que aquest farà, tenim un consum de 1,5mW en transmissió continua.



Figura 34: L'ús de l'infraroig està molt estès entre els comandaments a distància

La codificació més comuna en els comandaments a distància, el protocol RC5. Aquest protocol treballa sobre una freqüència portadora de 36KHz, això significa que el led farà 36000 intermitències per segon quan estigui actiu. La codificació utilitzada és bifàsic o també anomenada codificació Manchester i consisteix en dividir el bit a transmetre en dos fragments, codificant l'1 amb el primer fragment en estat baix i el segon fragment en estat alt i el "0" amb el primer fragment en estat alt i el segon fragment en estat baix.

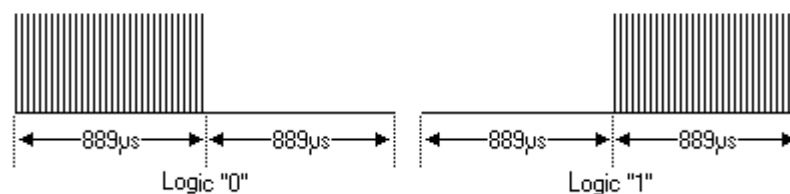


Figura 35: Codificació dels bits en una configuració bifàsica

Com podem veure en la imatge aquest protocol envia un bit cada 1,778ms, això és degut a que no es necessita gaire ample de banda i es busca una alta fiabilitat en la transmissió. Amb aquesta configuració podem arribar a velocitats de transmissió de 562 bits/s. Si reduíssim el temps de cada

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica bit, s'augmentaria la velocitat de transmissió tot i que perdríem fiabilitat. Si a cada fragment del bit considerem que hi hagi 10 intermitències del led, tindríem que cada bit s'enviaria en 0,556ms per tant aconseguiríem una velocitat de transmissió de 1800 bits/s.

5.2.2 Radio Freqüència

L'espectre d'ones electromagnètiques està regulat per evitar que diferents tecnologies treballin amb el mateix rang de freqüències i s'interfereixin en el seu funcionament. La comunicació es realitza a través de les freqüències lliures de l'espectre de manera que utilitzant un mòdul de radio freqüència (RF) que treballi en aquest rang lliure podem comunicar dos dispositius separats físicament.



Figura 36: Els xips de radio freqüència a 433MHz s'utilitzen en els comandaments per obrir les portes de garatge

El circuit hauria de disposar d'un mòdul RF emissor per un costat i per l'altre d'un mòdul receptor, cada un hauria d'estar controlat per un Microcontrolador per tal de poder enviar i rebre dades. Aquest sistema no disposa d'un control d'errors a nivell de hardware i degut a la naturalesa del medi, tindrem una alta probabilitat d'obtenir d'interferències en la transmissió de la informació. Per solucionar aquest inconvenient normalment s'utilitza un control d'errors via software que no només permeti detectar si la dada està lliure d'errors o no, sinó també poder reparar-la en cas de que aquesta estigues corrupta ja que normalment la transmissió és unidireccional.

El consum elèctric d'aquests mòduls depenen de la implementació dels mateixos i de la distancia pot variar entre 30mW fins a 180mW en estat de funcionament i 1,5μW en estat de repòs.

La freqüència portadora és 433MHz si utilitzéssim la codificació Manchester molt utilitzada

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica per aquest tipus de connexions, aconseguiríem velocitats molt superior als Infrarojos que treballen amb una freqüència portadora de 36KHz. L'increment de la freqüència és de 12000 vegades superior, per tant, podem aconseguir una velocitat de transmissió de fins a 20 Mbits/s. Aquesta velocitat és teòrica i s'hauria de calcular el nombre d'errors rebuts degut a les interferències i reduir la velocitat de transmissió fins que aconseguíssim un percentatge suficientment baix d'errors.

5.2.3 WIFI

WiFi és l'acrònim de Wireless Fidelity (fidelitat sense fils) i sota aquest nom hi ha diferents estàndards de comunicació de dades, és una marca que engloba tot un conjunt d'estàndards per a la comunicació de xarxes locals.



Figura 37: L'ús de WiFi està més restringit a dispositius amb més capacitat de bateria degut al seu consum

Les comunicacions són a través d'ones de ràdio de curt abast, que pel fet d'estar codificades i de ser de baixa potència no interfereixen entre si. El radi de cobertura d'un senyal pot arribar fins a 300 metres però a la pràctica, la orientació i ubicació de les antenes i obstacles fa que el senyal no assoleixi aquestes xifres teòriques.

L'estàndard avui en dia més estès és el 802.11g que permet un ample de banda màxim de 54Mbps.

El consum típic d'aquest estàndard és d'uns 7 Watts.

5.2.4 Bluetooth

El Bluetooth és una especificació industrial de les xarxes PAN (Personal Area Network) sense fils, que ens permet connectar diferents dispositius que es troben aprop.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Aquesta tecnologia ens permet intercanviar informació d'una forma segura, econòmica i amb un consum contingut. Està orientada a connexió, per tant, abans de poder enviar qualsevol dada els dos dispositius que es comunicaran s'han d'identificar, aquest procés pot durar fins a 6 segons. La distància de funcionament pot arribar fins als 100 metres però això depèn de la potència dispositiu i dels obstacles amb que es trobi la senyal. Podem distingir 3 classes de dispositius en funció de la potència de cada un, la classe 1 consumeix 100mW i té l'abast més ampli arribant als 100 metres. La classe 2 de 2.5mW de potència és la més utilitzada i permet una transmissió de fins a 10 metres i finalment la classe 3 que té un consum de 1 mW i la distància màxima entre dispositius connectats és de 10 centímetres.



Figura 38: Degut al seu consum més contingut, el poden utilitzar dispositius amb una bateria més discreta com per exemple un rellotge avançat

Actualment la versió més estesa és la 2.1 que permet una velocitat de transmissió de 3 Mbits/s millorant en aquest aspecte a la versió 1.0 que el seu màxim es trobava a 1 Mbit/s.

Els dispositius de gama més alta ja comencen a incorporar la versió 3.0 que es va estandarditzar a mitjans del 2009 i que alça la velocitat fins a 24 Mbits/s. De moment el seu ús és minoritari però amb clara tendència a anar augmentant progressivament.

Finalment, l'última versió que s'ha fet pública és la versió 4.0 que incorpora un mode de molt baix consum. Aquest mode és la conseqüència de la demanda de transmetre dades des de petits dispositius sense la necessitat de grans amplituds de banda. Per tant, aquest mode de baix consum baixa el velocitat de transmissió fins a 200 Kbits/s d'amplitud de banda útil permeten una reducció de

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica consum de fins a 100 vegades en comparació al mode normal. La versió 4.0 es va fer pública a mitjans del 2010, però no és fins a finals de 2011 que s'esperen els primers dispositius comercials.

5.2.5 Conclusions

Abans de començar, hem de tenir en compte que tant la opció de l'infraroig com la radio freqüència són mètodes de transferència no orientats a la connexió, per tant, el consum elèctric només serà efectiu durant la transmissió ja que es pot desconnectar mentre no s'està enviant informació. Per poder calcular el temps que està en funcionament hem de conèixer la velocitat de transmissió que dependrà de l'opció escollida i el volum de dades a transmetre que són uns 5 bytes per segon.

Després de veure les característiques bàsiques de les principals tecnologies utilitzades en la transmissió de dades via wireless, estem en disposició de escollir quina és la millor.

Pel que fa la tecnologia d'Infraroigs, l'inconvenient més important és que els dos dispositius han de tenir visió directe de manera que han d'estar encarats l'un amb l'altre i si s'interposa un objecte entre mig, com pot ser fang en el cas de la bicicleta, aquest deixaria de funcionar. El consum que tindrà dependrà del temps que s'està utilitzant el led. Cada segon s'estarà transmetent durant 25 ms, és a dir, una quarantena part del temps i per tant el seu consum mig és:

$$\frac{1,5}{\frac{1}{0,025}} mW = 37,5 \mu W$$

Descartarem aquesta opció perquè és necessari la visió directe entre l'emissor i el receptor encara que tingui un consum elèctric molt baix.

La radio freqüència és l'altre alternativa que no està encarada a la connexió, per tant, el seu consum també dependrà de les dades a transmetre. Cada segon estarà transmetent durant $2\mu s$ (una mig milionèsima part d'un segon) consumint uns 30mW o en els pitjors dels casos 180mW però la resta del temps està en estat de repòs consumint $1,5\mu W$. El consum mig és:

$$\text{Consum actiu} * \text{temps actiu} + \text{Consum en repòs} * \text{temps en repòs} = \text{Consum mig}$$

$$\text{Consumint 30mW: } 30mW * 0,000002 + 0,0015mW * 0,999998 = 1,56\mu W$$

$$\text{Consumint 180mW: } 180mW * 0,000002 + 0,0015mW * 0,999998 = 1,86\mu W$$

Veiem que aquesta opció obtenim uns resultats de consum elèctric molt baixos ja que la velocitat de transmissió és molt alta i pot estar la major part del temps en estat de repòs. Per altre banda, al utilitzar radio freqüència no és necessari que l'emissor i el receptor estiguin encarats i ens

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica proporciona gran llibertat pel que fa a la ubicació i moviment dels dos dispositius.

L'estàndard WiFi ens permet tenir un gran ample de banda de fins a 54Mbps/s i hi ha un gran nombre de dispositius que hi són compatibles. A la seva contra però hi ha el seu consum elèctric que es situa a 7 Watts i això impossibilita l'ús amb piles de boto. En el millor dels casos tindrem una capacitat de la pila de 1000mAh i la intensitat de corrent de 7 Watts equival a aproximadament 2000mA que consumiran la càrrega de la pila en mitja hora.

L'estàndard Bluetooth de la classe 2 actualment és una solució acceptable ja que amb el seu consum elèctric és contingut i les seves possibilitats són molt més elevades que les altres opcions degut al gran nombre de dispositius compatibles amb aquesta tecnologia. El seu consum de 2.5mW ens permetria un temps de funcionament 2800 vegades superior que en el cas de l'estàndard WiFi anteriorment esmentat. Fixant-nos en l'exemple de la pila de 1000mAh aconseguiríem una autonomia de 1400 hores que equivalen a un ús ininterromput de 2 mesos. A més a més, el futur d'aquest estàndard és molt prometedor amb l'especificació Bluetooth 4.0 a l'horitzó prometent un consum fins a uns 100 cops menor que l'actual.

En definitiva, veiem l'opció de la radio freqüència i el Bluetooth com a candidats més importants de cara a transmetre les dades amb un baix consum encara que el segon té moltes més possibilitats a mig termini gràcies al seu ús estès i a la nova especificació de Bluetooth 4.0 que està per venir. Per altre banda, descartem l'estàndard WiFi per el seu alt consum i la tecnologia d'infraroig per la necessitat de tenir l'emissor i el receptor amb visió directa.

5.3 Bluetooth

L'estàndard Bluetooth ens proporciona transferència de dades a un gran nombre de dispositius compatibles. Per poder mostrar el seu potencial realitzarem una demostració de la comunicació cap a un telèfon mòbil que actualment pràcticament la totalitat d'aquests dispositius l'incorporen. En aquesta demostració representarem els valors captats a través del sensor a la pantalla del dispositiu mòbil, de forma que podrem veure a temps real quina força s'està exercint al pedal.

5.3.1 Especificacions del mòdul utilitzat

L'adaptador Bluetooth utilitzat a la demostració és un terminal que ens permet l'adaptació la transmissió de dades mitjançant l'estàndard Bluetooth i un port serie. Aquest adaptador ens permet treballar comodament en la fase de desenvolupament amb la tecnologia Bluetooth i poder testear la comunicació de les dades sense la necessitat d'incorporar un chip integrat amb aquesta funcionalitat.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica



Figura 39: Parani-SD200

El model utilitzat en aquest projecte és el Parani-SD 200 utilitza Bluetooth de classe 2 i ens permet transmetre les dades fins a 30 metres de distància gràcies a l'incorporació de la seva antena. No obstant, aquest mòdul no està pensat per estar incorporat en un sistema autònom ja que disposa d'un adaptador de corrent elèctrica per tal d'alimentar-se per tal de subministrar-li els 230mW de potència que necessita per el seu funcionament. Opcionalment també es pot alimentar amb una bateria externa de dimensions considerables que el permet una autònoma de 11 hores de treball gràcies als seus 2500mAh de càrrega elèctrica.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

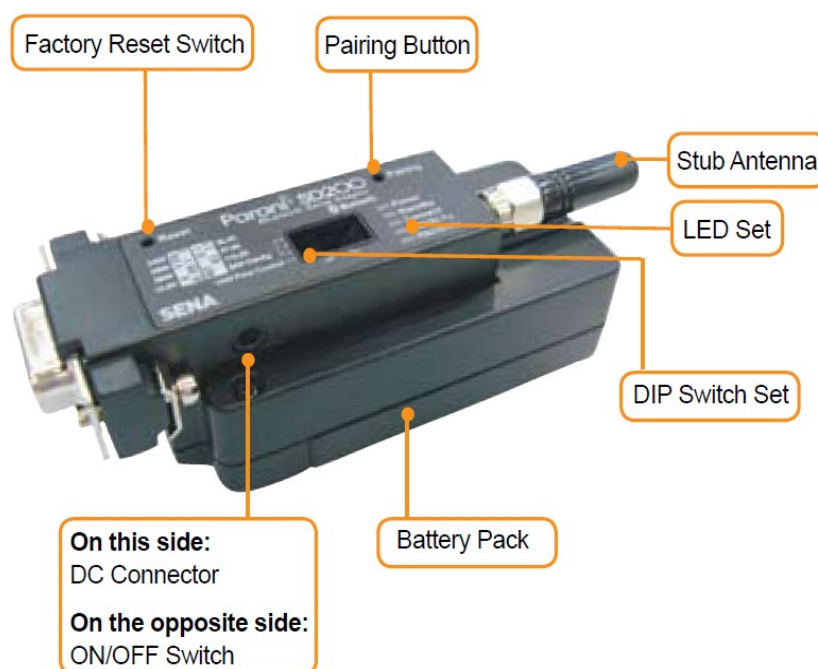


Figura 40: Disseny extern del Parani-SD 200

Per tal de configurar el dispositiu, podem fer ús dels interruptors que duu incorporats el mateix dispositiu i ens permeten canviar els paràmetres més bàsics com la velocitat de transmissió del port sèrie, resetejar el dispositiu o començar el procés per emparellar-se amb altres dispositius Bluetooth.

5.3.2 Comunicació amb el mòdul

La comunicació amb el microcontrolador de la placa de desenvolupament com hem explicat anteriorment es realitza mitjançant el port sèrie que incorpora el Parani-SD200. Per connectar els dos sistemes, es fa servir el connector DE-9 comunament utilitzat en aquest tipus de comunicació.



Figura 41: Connector DE-9 Femella del Parani-SD200

Em de tenir en compte que el port sèrie treballa amb voltatges de fins a ± 15 Volts mentre

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica que a la placa de desenvolupament hi ha un voltatge de 0 a 5 Volts. Per tal de convertir les dues senyals i poder intercomunicar els dispositius, utilitzarem un xip integrat que compatibilitzi les dues senyals. El component triat per aquest propòsit és el LT1181ACN que resulta més econòmic tot i realitzant la mateixa funció que el conegut MAX232.

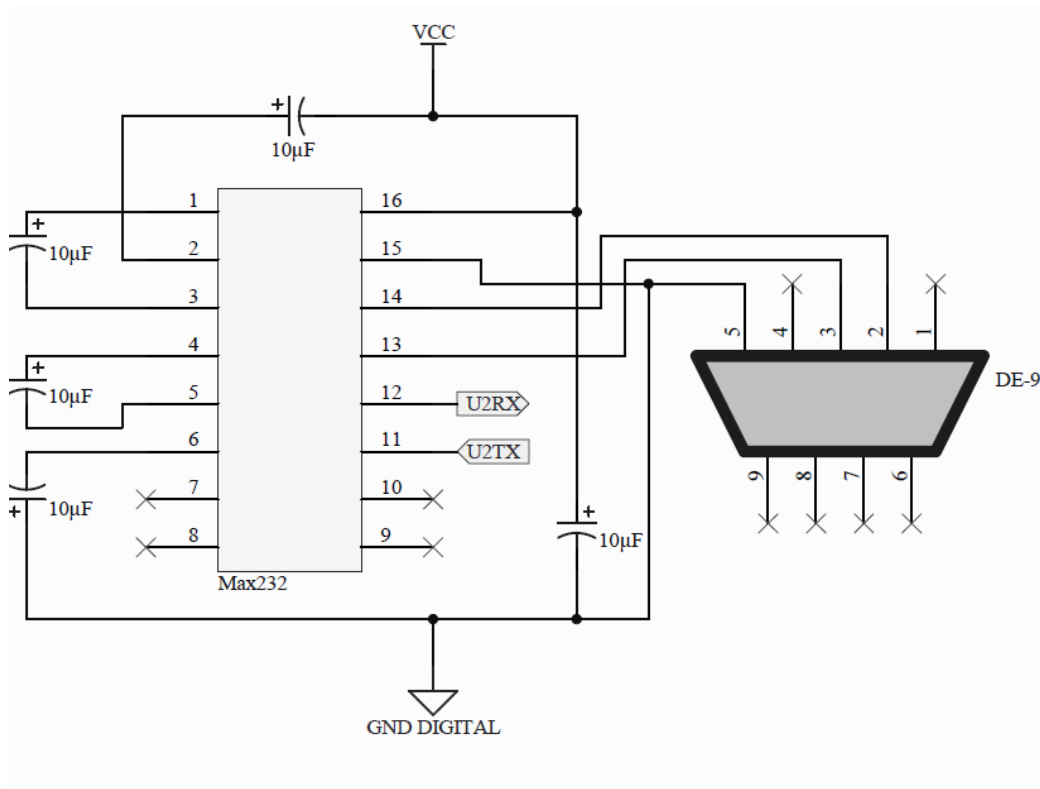


Figura 42: Circuiteria del convertidor de Voltatge del port sèrie

5.4 Radio Freqüència

Els mòduls de radio freqüència utilitzats treballen amb la freqüència portadora de 433MHz i estan integrats en un circuit imprès dissenyat per l'empresa Aurel que simplifiquen la configuració de la transmissió RF.

5.4.1 Mòdul Emissor

El emissor de RF és el C-0503 de Aurel i treballa a 433MHz. La freqüència de modulació màxima a 5 Volts és 3KHz, el que ens obliga a reduir la velocitat de transmissió del port UART del microcontrolador si volem enviar les dades d'aquest a través d'aquest. El consum d'aquest emissor és d'uns 20 mW.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

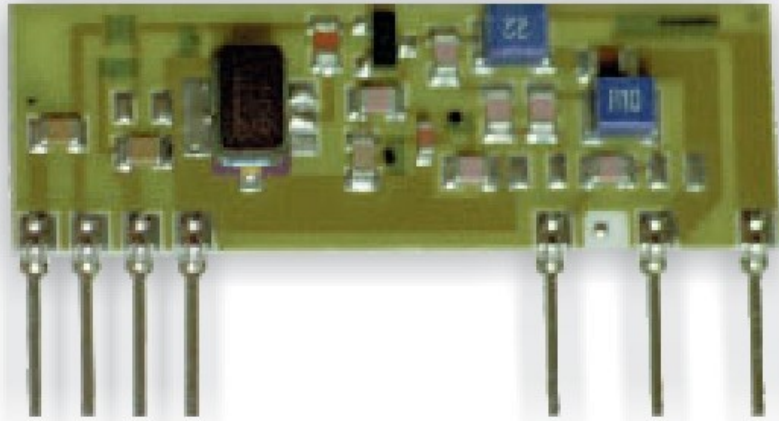


Figura 43: Mòdul Emissor C-0503

La codificació utilitzada per la modulació de la senyal és On-Off Keying (OOK) que a grans trets significa que els “1” lògics es tradueixen a presència de freqüència portadora i els “0” lògics en l'absència d'aquesta. Com hem comentat, aquest integrat suporta fins a 3KHz de freqüència de modulació tot i que aquesta codificació permetria augmentar aquesta velocitat fins als 2MHz.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

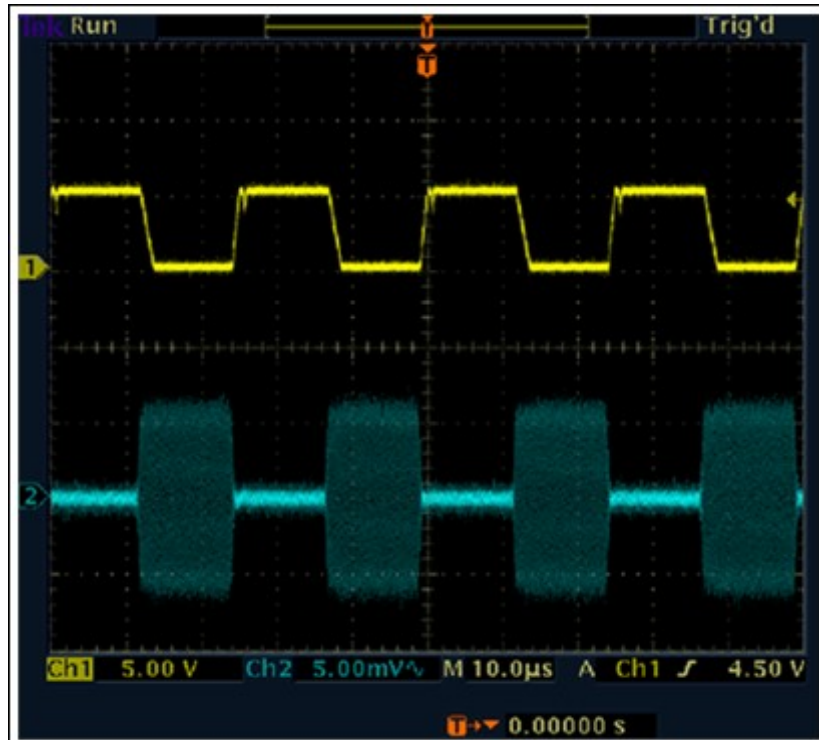


Figura 44: Representació de la codificació OOK en comparació a la senyal digital

Com veiem a la figura 44 la senyal superior representa la senyal digital de “0” i “1” i la senyal inferior representa la codificació OOK modulada.

5.4.2 Mòdul Receptor

El mòdul receptor és el C-0504 de Aurel i treballa a 433MHz. Aquest mòdul rep les dades enviades per l'emissor i reproduïx la dada llegida per una pota del seu integrat. D'aquesta manera llegint el valor d'aquesta pota podrem obtenir el valor enviat i treballar com si els dos dispositius estiguessin units físicament.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

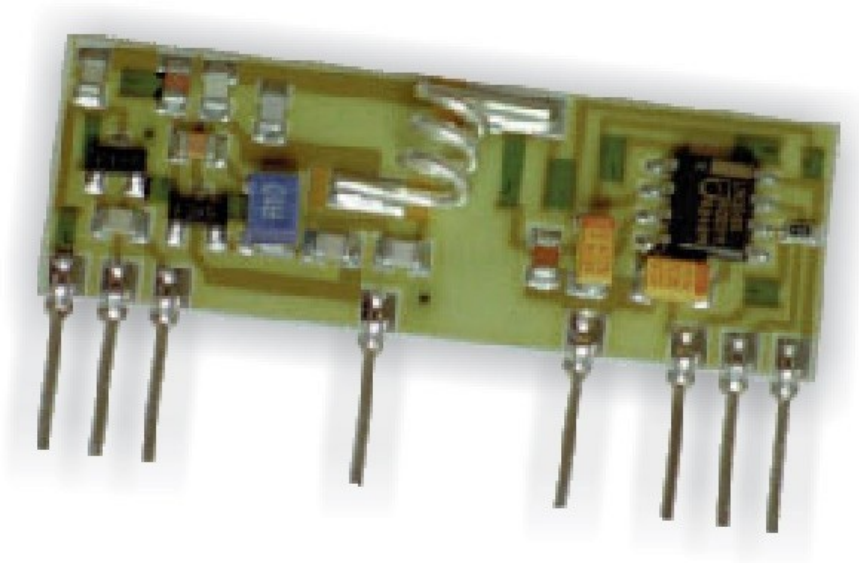


Figura 45: Mòdul Receptor C-0504

La codificació utilitzada per rebre les dades és la OOK explicada a l'apartat 5.4.1.

5.4.3 Placa que el governa

El mòdul receptor de radio freqüència només rep les dades del transmissor i aquestes s'han de tractar per tal de poder visualitzar-les d'una forma comprensible. Per tal processar aquestes dades hem d'introduir un segon microcontrolador connectat al C-0504.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

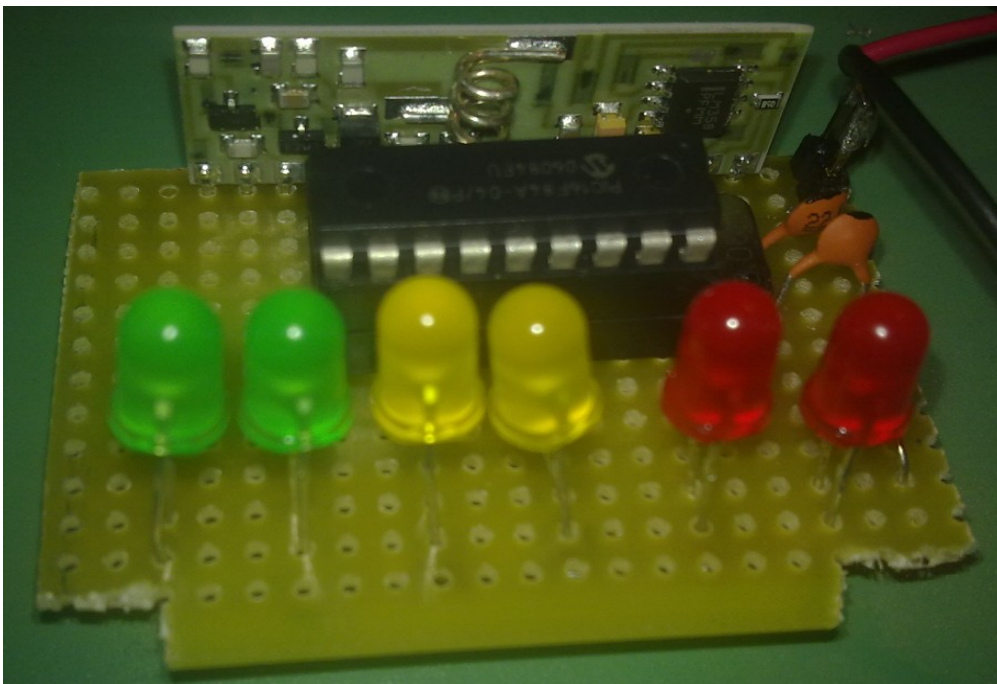


Figura 46: Circuit del microcontrolador que tracta la senyal rebuda per el mòdul receptor de RF

Aquest microcontrolador disposarà de 6 leds per tal de mostrar les dades gràficament i d'una forma més comprensible, encenent sols un led segons si es fa més o menys força. Encenent el led de l'esquerra quan es fa menys força i progressivament els de la dreta quan es va exercint més esforç.

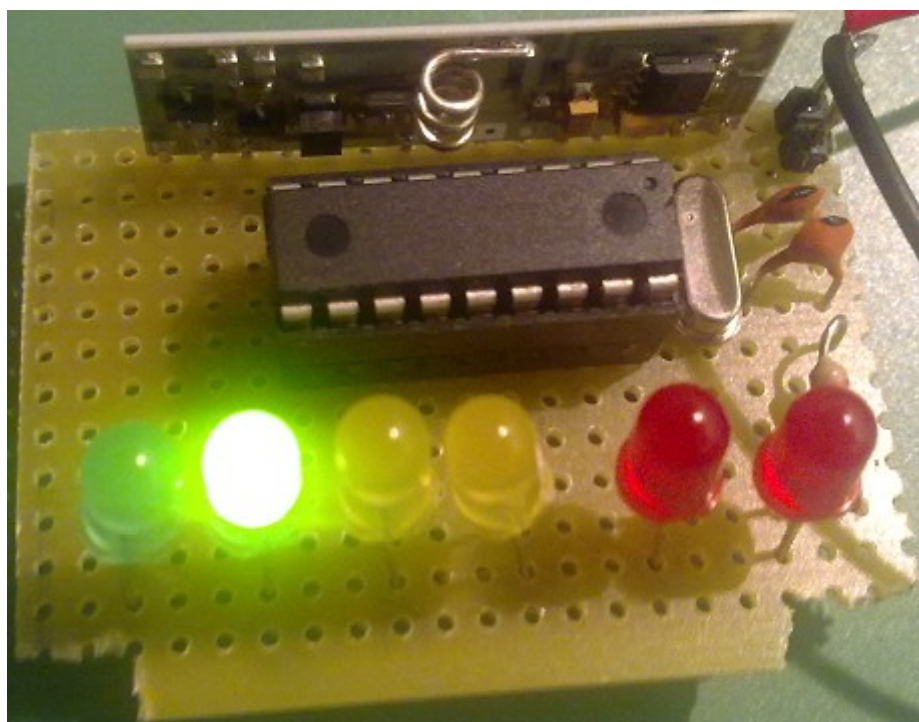


Figura 47: Circuit amb el segon led encès

6 Integració del circuit al pedal

El següent pas del projecte un cop tenim la placa de desenvolupament funcionant correctament seria l'estudi de la ubicació del sistema al pedal. Degut a la quantitat de components electrònics necessaris, no veig factible incrustar-ho a dintre del braç del pedal ja que s'hauria de reduir la placa a unes dimensions de com a màxim 1.5 cm x 3 cm. Si es col·loca la placa a la corona del pedal, es pot aconseguir un espai per situar la placa de forma circular de radi 10 cm més que necessari per introduir-hi tots els components.

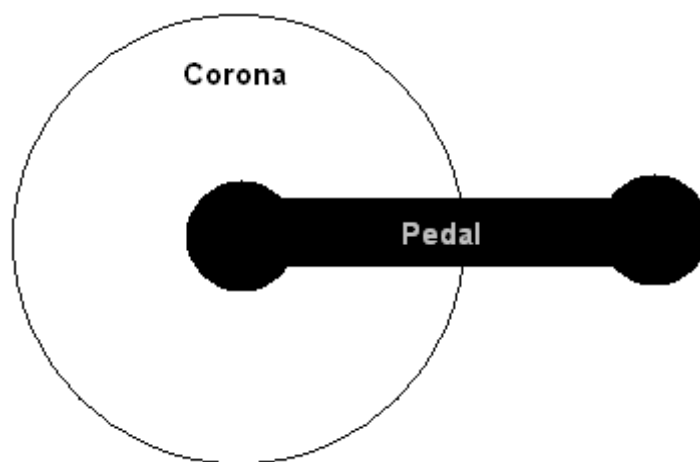


Figura 48: Representació del pedal de la bicicleta

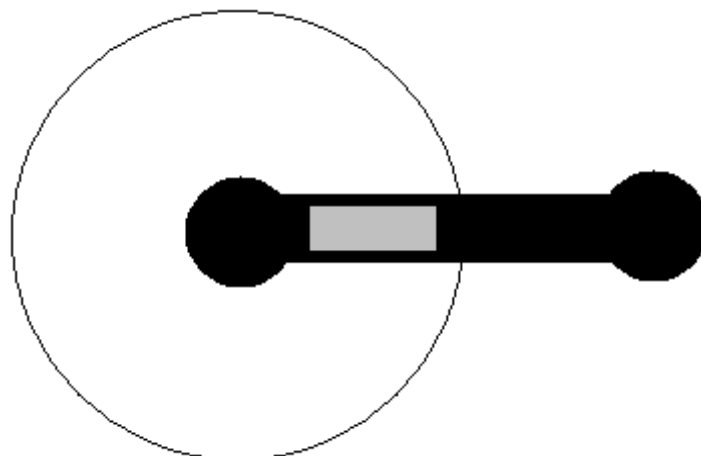


Figura 49: Ubicació de la placa al braç del pedal

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

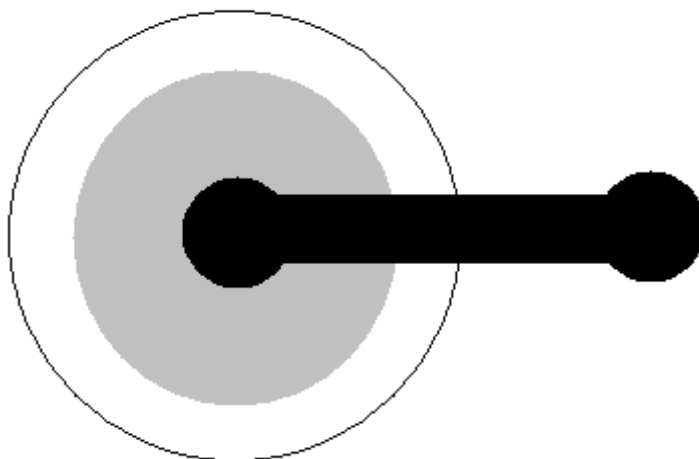


Figura 50: Ubicació de la placa a la corona del pedal

6.1 Miniaturització

La placa creada en aquest projecte, és una placa de desenvolupament i per tal de optimitzar el consum i l'espai d'aquesta s'han d'implementar solucions encarades a la producció i no al desenvolupament com poden ser l'adaptador Bluetooth utilitzat o els mòduls RF.

Primerament s'hauria d'escollir quina de les dues tecnologies de transmissió s'adapta més a les necessitats de l'ús que s'en vol fer ja que només s'hauria d'implementar-ne una. En cas de voler implementar la tecnologia Bluetooth es podria utilitzar el xip de l'empresa Broadcom BCM2045 i en cas de la transmissió RF es podria utilitzar el xip TRF4903 per la transmissió que seria el xip que aniria al pedal.

Un microcontrolador que encaixaria a la perfecció seria el PIC16F1827 que és de la serie extrem low power (XLP) de microchip.



Figura 51: Microcontrolador PIC16F1827 de la família XLP

Aquests canvis ens evitarien la utilització del circuit Max232, l'adaptador Bluetooth i els mòduls RF.

7 Aplicació pel mòbil

7.1 Introducció

Com he explicat anteriorment la tecnologia emprada per la comunicació de les dades ha sigut Bluetooth per fet que pràcticament tots els telèfons mòbils el porten incorporat. Per aprofitar aquest fet hem desenvolupat un software que funciona en un telefon mòbil per tal de veure les dades obtingudes a temps real d'una forma organitzada.

7.2 Tecnologia usada

Aprofitant l'avinencesa de disposar d'una tecnologia estandarditzada per tots els mòbils com pot ser el Bluetooth hem escollit el llenguatge de programació Java ME ja que aquest també és àmpliament compatible per la majoria de terminals mòbils de l'actualitat.

Java ME també ens aporta moltes més millores a l'hora d'implementar el software respecte als altres llenguatges de programació com pot ser l'ampli suport que pots obtenir d'Internet per solucionar els possibles problemes que puguin sorgir, la similitud amb el llenguatge Java que ja tenim més que assimilat i la gran facilitat d'ús d'aquest llenguatge a l'hora d'implementar un programa entre altre.

Java ME no només recull els avantatges de Java sinó que també hereta molts dels seus inconvenients, els més destacables són el baix rendiment a l'hora d'executar el codi del programa i l'ús desproporcionat de memòria. Aquests desavantatges tot i ser molt importants, no són crítics per que fa al software que volem desenvolupar perquè aquest no requereix de grans quantitats de càlculs ni ocupa excessiva memòria.

7.3 Funcionalitats

La funció principal d'aquesta aplicació és la de poder mostrar una de les moltes possibles alternatives que permet aquest projecte. L'aplicació permet la visualització de forma intuïtiva del funcionament del sensor que estem analitzant.

El primer pas a realitzar és la iniciació de la connexió via Bluetooth amb la placa integrada al pedal.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Un cop tenim la connexió establerta podem començar la transmissió de dades entre els dos dispositius. En aquest cas, treballarem de forma que el terminal mòbil sigui passiu, és a dir, que simplement rebi la informació que ha de processar i el dispositiu integrat al pedal sigui actiu, és a dir, que envii periòdicament la informació llegida pel sensor.

Després de la recepció de les dades hem de ser capaços de tractar-les de forma correcta. Les dades rebudes són el conjunt de valors de força interpretats per el microcontrolador, per tant, haurem de recopilar aquesta informació per tal d'extreure'n dades com la força màxima realitzada, força total i fins i tot un gràfica a temps real que representi l'esforç instantani realitzat.

7.4 Metodologia

L'aplicació per mòbil tot i no ser la part principal del projecte ha sigut una de les primeres en començar-se degut a que no es necessitava material addicional per poder desenvolupar-se no com els altres components del projecte que es depenia de tercers per poder començar-les.

Per poder desenvolupar el software s'ha hagut de simular la placa integrada perquè encara no estava enllestida. El procediment seguit ha sigut connectar l'aplicació mòbil amb un PC via Bluetooth i mitjançant un programa, desenvolupat expressament per l'ocasió, simular la transmissió de dades entre els dispositius.

7.5 Classes

Les classes utilitzades en aquesta aplicació es poden dividir en dos grups: un grup en diríem les classes funcionals, on estarien incloses les classes de la capa de domini i les classes de la capa de dades. El segon grup consisteix en les classes de la capa de visualització on la classe principal d'aquest grup anomenada “Pantalla” és un classe abstracte de la qual heretaran totes les pantalles diferents de l'aplicació.

La classe “Pantalla” l'hem creat per adaptar-nos a la naturalesa de les aplicacions J2ME on es basen en pantalles i les accions pertinents que es poden fer en aquestes. Per tant, tenim funcionalitats comunes en totes elles que són les accions que es poden realitzar i l'objecte a mostrar que les agrupem en aquesta classe principal. Per altre banda, tenim que les accions d'una pantalla poden ser diferents a les altres mentre que els objectes a visualitzar segurament també seran diferents, per tant, creem una subclasse per cada pantalla. Aquesta estructura ens permetrà que la navegació entre les vistes de l'aplicació sigui més intuïtiva permeten torna a la pantalla anterior en tot moment.

7.5.1 VisualitzacioForces

Aquesta classe és la classe encarregada de iniciar l'aplicació mòbil. La classe encarregada de controlar el fluxe d'execució de l'aplicació dintre del sistema operatiu del telèfon mòbil s'anomena MIDlet. Aquesta basicament permet al sistema operatiu tindre el control de l'aplicació permeten que aquest pugui pausar, reanudar o inclús destruir l'aplicació.

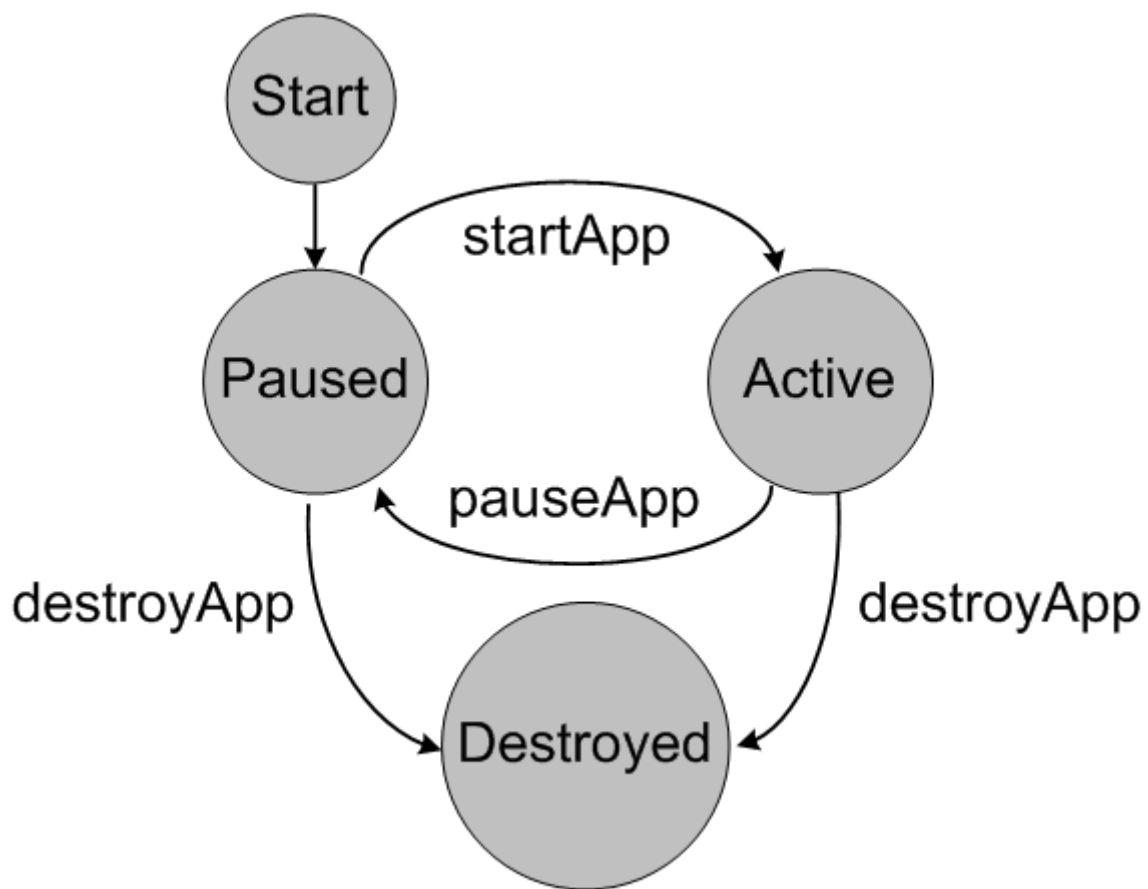


Figura 52: Flux d'execució de la classe MIDlet

7.5.1.1 Variables

```
Display display = null;  
Pantalla pantalla_inicial;  
Pantalla pantalla_actual;
```

La variable display representa la pantalla física del dispositiu i s'utilitzarà per indicar quina pantalla s'està mostrant en cada moment.

Pantalla_Inicial és la pantalla d'inici per si en qualsevol instant de l'aplicació es vol tornar al

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica començament de l'aplicació.

Pantalla_actual és la pantalla que s'està mostrant ara mateix, s'utilitza per anar repintant la pantalla.

7.5.1.2 Funcions

```
public VisualitzacioForces() throws MIDletStateChangeException {
    synchronized (this) {
        pantalla_inicial=new P_Inici(this, new
        StockCommandListener(),null);
        pantalla_actual=pantalla_inicial;
    }
}
```

El constructor de la classe inicia la pàgina d'inici de l'aplicació i l'assigna com a pantalla actual. Veiem que a l'hora de crear la pàgina enviem també un objecte stockCommandListener, que serveix per poder capturar les pulsacions del teclat i poder realitzar les accions pertinents.

```
public void startApp() {
    display = Display.getDisplay(this);
    display.setCurrent(pantalla_actual.getPantalla());
}
```

Un cop finalitzat el constructor, la funció startApp de la classe MIDlet s'executa, en aquesta classe indiquem que la pantalla del dispositiu estarà controlada per la classe MIDlet i que la pantalla que es mostra és la pantalla actual.

Finalment en la funció pauseApp() i DestroyApp() no realitzem res perquè en cas de finalitzar l'aplicació no hem de realitzar cap operació.

7.5.2 StockCommandListener

7.5.2.1 Variables

```
private Command currentCommand;
private Displayable currentDisplayable;
private Thread commandThread;
```

CurrentCommand representa la tecla premuda, currentDisplayable representa la pantalla en la qual s'ha premut aquesta tecla i commandThread és el fil d'execució que tractarà aquest event.

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

7.5.2.2 Funcions

```
public void commandAction(Command c, Displayable d)
```

La funció `commandAction` captura el botó premut en el teclat del telèfon i executa les funcions sol·licitades.

7.5.3 Pantalla

La classe pantalla com hem comentat abans, és una classe abstracte de la qual hereten totes les pantalles de l'aplicació.

7.5.3.1 Variables

```
public CommandListener listener;  
public PantallesMobil mobil;  
public Pantalla p_anterior;
```

La variable `listener` representa la classe que captura els events del teclat, `mobil` representa l'aplicació que s'està executant permetent tancar l'aplicació, pausar-la o reactivar-la i `p_anterior` és la pantalla anterior i serveix per poder tornar a la pantalla anterior.

7.5.3.2 Funcions

```
protected void exit();  
protected void changePantalla(Displayable d);  
public abstract void acció(Command c, Displayable d);  
public abstract void setActive();  
protected abstract void back();
```

La funció “`exit`” tanca l'aplicació. La funció “`changePantalla`” passa a mostrar la pantalla passada per paràmetre. A la funció “`acció`” s'introdueixen les funcionalitats que ha de realitzar cada botó en aquesta pantalla. La funció “`back`” elimina la pantalla actual i mostra la pantalla anterior.

7.5.4 P_Inici

És la pàgina de benvinguda de l'aplicació i permet iniciar la cerca d'un dispositiu Bluetooth o visualitzar els crèdits de l'aplicació.

7.5.4.1 Captura de pantalla

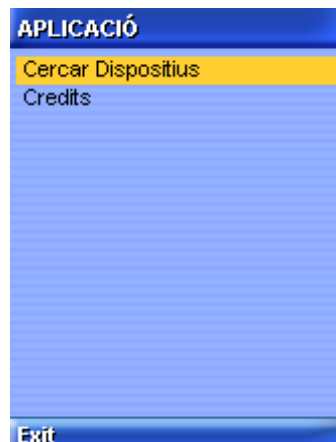


Figura 53: Caputra de la pantalla P_Inici

7.5.5 P_BuscarDispositiu

Mostra la llista de dispositius Bluetooth trobats i permet seleccionar el dispositiu al que desitgem connectar-nos. També permet iniciar una simulació d'un dispositiu Bluetooth per tal de veure les estadístiques i Gràfiques sense necessitat de disposar d'un aparell Bluetooth.

7.5.5.1 Captura de pantalla

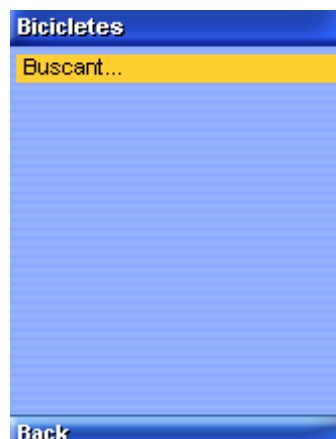


Figura 54: Captura de la pantalla P_BuscarDispositiu mentre busca els dispositius Bluetooth

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

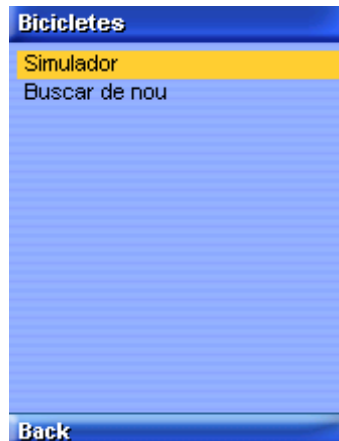


Figura 55: Captura de la pantalla P_BuscarDispositiu sense cap dispositiu Bluetooth a l'abast

7.5.6 P_BuscarServeis

Mostra la llista de serveis disponibles per el dispositiu Bluetooth connectat i permet seleccionar el servei desitjat. Els serveis representen diferents funcions dins el mateix dispositiu podent escollir a quina es vol fer servir.

7.5.7 P_Dispositiu

Aquesta pantalla ens permet intercanviar el mode de visualització de les dades rebudes ja siguin estadístiques de les dades o una gràfica representant l'esforç realitzat.

7.5.7.1 Captura de pantalla

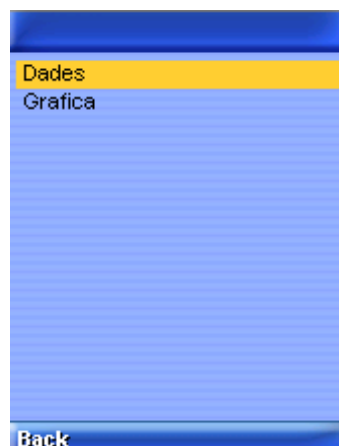


Figura 56: Captura de la pantalla P_Dispositiu

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

7.5.8 P_Dades

Mostra estadístiques de la informació rebuda.

7.5.8.1 Captura de pantalla



Figura 57: Captura de la pantalla P_Dades

7.5.9 P_Gràfica

Aquesta classe mostra dues gràfiques a la pantalla, una representa les dades del pedal esquerra i l'altre les dades del pedal dret.

7.5.9.1 Captura de pantalla

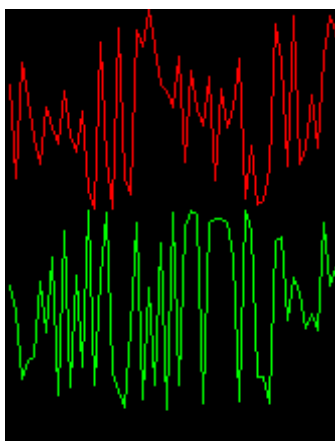


Figura 58: Captura de la pantalla P_Gràfica, veiem una gràfica corresponent a cada pedal

7.5.10 P_Credits

Mostra els crèdits de l'aplicació

7.5.10.1 **Captura de pantalla**

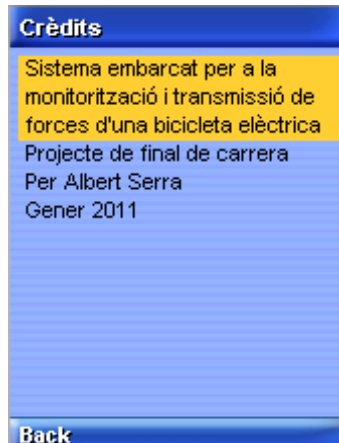


Figura 59: Captura de la pantalla P_Credits

7.5.11 **BlueTooth**

Administra la connexió amb el dispositiu permetent la iniciació de la connexió i la transmissió d'informació entre ells.

7.5.11.1 **Variables**

```
public Vector llista_serveis = new Vector();  
public Vector vecDevices = new Vector();  
public InputStream m_Input = null;  
public OutputStream m_Output = null;
```

La variable `llista_serveis` conté els serveis trobats per el dispositiu seleccionat. La variable “`vecDevices`” conté els dispositius Bluetooth que estan a l'abast. Les variables `InputStream` i `OutputStream` serveixen per rebre i enviar informació a través del Bluetooth

7.5.11.2 **Funcions**

```
public boolean init_conexio()  
public boolean cercarDispositius()  
public boolean cercarServeis(RemoteDevice rd)
```

La funció “`init_conexio`” es connecta al servei del dispositiu configurat. La funció “`cercarDispositiu`” busca la llista de dispositius Bluetooth i els mostra per pantalla. La funció “`cercarServeis`” busca els serveis disponibles per el dispositiu seleccionat i els mostra per pantalla.

7.5.12 InfoDispositiu

Classe que emmagatzema les dades obtingudes del dispositiu i que servirà perquè puguem generar la gràfica i les estadístiques.

7.5.12.1 Variables

```
public Vector força_instanania_esq=new Vector();  
public Vector força_instanania_dreta=new Vector();
```

Els vectors “força_instanania_esq” i “força_instanania_dreta” van emmagatzemant els valors de força que va llegint per tal de poder consultats posteriorment per generar les estadístiques i la gràfica.

8 Avaluació de resultats

El compliment d'aquest projecte és tot just el primer pas d'un gran camí de possibilitats pel que fa a la monitorització i transmissió de forces, tenint un gran ventall de possibilitats per on explotar i ampliar el coneixement i l'experiència obtinguda durant l'assoliment dels objectius.

Aquest PFC acaba amb la realització d'un sistema capaç de obtenir dades d'un sensor de força processar-les i interpretar-les per tal de poder calcular l'esforç realitzat. Capaç de transmetre aquestes dades de manera inalabrica mitjançant dues tecnologies diferents cada una amb els seus avantatges per tal de deixar un ventall de possibilitats més gran. Capaç de recollir aquesta informació i representar-la ja sigui en un dispositiu avançat com un telèfon mòbil o il·luminar uns simples leds per tal de mostrar gràficament els valors dels esforços. I amb la introducció de tecnologies de baix consum per tal de encaminar futurs projectes en l'optimització del sistema de cara a una implementació comercial.

Així doncs, estem davant d'un prototip que ens mostra les possibilitats d'un sistema d'aquest tipus i ens proporciona una molt bona base per tal d'assentar els fonaments d'un projecte comercial que, com hem comentat a la introducció de la memòria, pot estar encarat a àmbits molt variats.

Un cop finalitzat el projecte i veient tot el procés en perspectiva, observem que aquest projecte és molt àmpli i molt complert ja que abarca gran nombre de tecnologies, procediments, plataformes i àrees. Inicialment hem començat amb la interpretació de esquemes elèctrics, seguidament hem après què és un sensor i com minimitzar l'error induït per factors externs com pot ser la temperatura. Hem calibrat el sensor utilitzant la deformació del material del que està construït el pedal i hem utilitzat l'oscil·loscopi per tal de llegir les dades d'aquest. Hem après a soldar a mà i utilitzant el forn per tal de soldar components amb l'espai entre potes molt petit. Hem après a utilitzar el MPLAB i el CCS per programar el microcontrolador i també hem après a programar una aplicació per mòbil utilitzant el llenguatge J2ME. Hem tractat amb senyals analògiques acondicionant-les per tal de tenir una lectura òptima del seu valor. Hem après l'ús de tecnologies de transmissió de dades com l'UART i el I2C i tecnologies de transmissió de dades sense fils com són el Bluetooth i els mòduls de radio freqüència. Hem dissenyat esquemes electrònics dels circuits creats ajudant-nos del software Altium. I per acabar també hem après a dur a terme un projecte d'una envergadura considerable administrant el nostre temps per tal d'assolir els objectius marcats.

Per tot això i per haver acabat el projecte amb resultats positius, estic molt satisfet d'haver

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

desenvolupat aquest PFC que inicialment semblava inabastable i que de mica en mica s'han anat superant tots els problemes que han anat sorgint.

9 Valoració econòmica

Programari Utilitzat

Programari	Cost
Microchip MPLab	Gratuït
Altium	146,00 € / mes
CCS	375,00 €
OpenOffice	Gratuït
NetBeans	Gratuït
	521,00 €

Hardware Utilitzat

Nom Hardware	Cost
Adaptador Bluetooth Parani-SD200	68,00 €
PGA309	7,00 €
ADS1100	2,30 €
dsPIC30F4011	11,00 €
Cristall	1,20 €
C-0503	5,40 €
C-0504	6,00 €
2xCaixa integració	5,20 €
	106,10 €

Hores de treball

Tasca	Hores	Cost/hora	Total
Anàlisi i disseny	530	35,00 €	18.550,00 €
Implementació	140	25,00 €	3.500,00 €
			22.050,00 €

10 Planificació

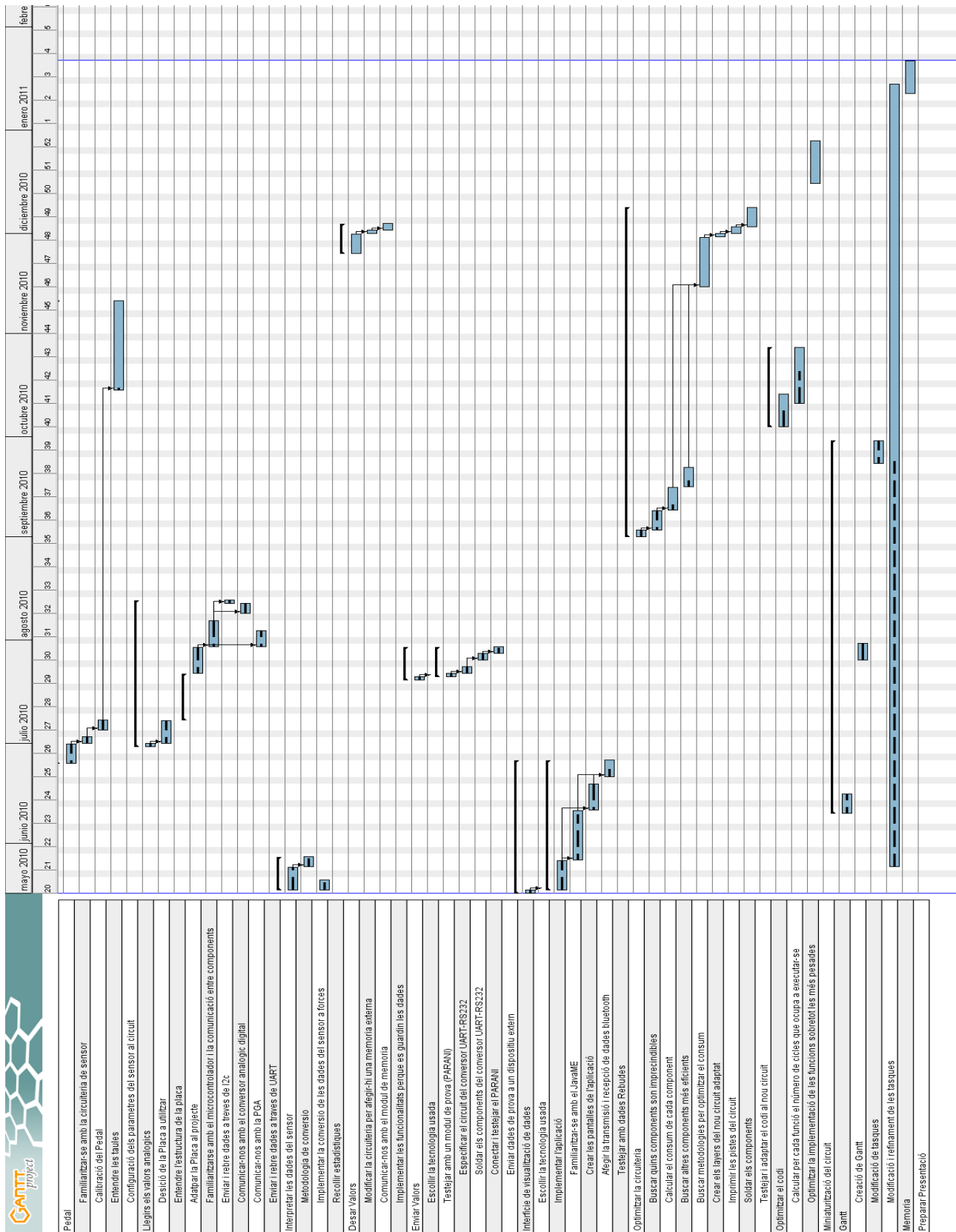


Figura 60: Diagrama Gantt

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

Com es pot apreciar en el diagrama Gantt, el projecte ha acabat a la data que es tenia previst. Tot i que degut a problemes amb el desenvolupament de la placa i la inexperiència inicial en aquest camp ha fet que la càrrega de feina parcial no es complís. Podem dir llavors que els terminis generals preestablerts s'han complert amb èxit tot i no haver previst prou bé la càrrega de treball de cada apartat.

11 Bibliografia

<http://developers.sun.com/mobility/midp/articles/fsm/>

<http://www.tadjhizyaran.org/Default.aspx?tabid=101&articleType=ArticleView&articleId=23>

<http://www.engin.brown.edu/courses/en123/lectures/strainfromcyber.htm>

<http://usuarios.multimania.es/sfriswolker/pic/uno.htm>

<http://usuarios.multimania.es/sfriswolker/pic/cinco/cincocuatro.htm>

http://cnmat.berkeley.edu/recipe/how_and_why_add_pull_and_pull_down_resistors_microcontroller_i_o_

<http://www.i2c-bus.org/>

<http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/rc5.htm>

<http://www.sena.com>

http://www.tpub.com/content/neets/14184/css/14184_40.htm

<http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/4439/CMP/ELK12>

12 Annexos

12.1 Pont de Wheatstone

El pont de Wheatstone és un instrument electrònic que consta de 4 resistències (R_1, R_2, R_3 i R_X) i serveix per mesurar petites variacions de una resistència (R_X) amb precisió. Canviant la resistència R_X per el nostre sensor de força el podrem utilitzar per calcular el valor d'aquest.

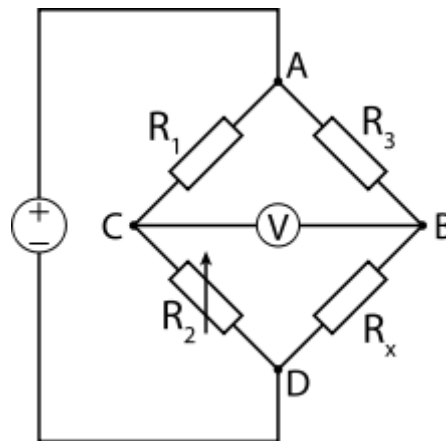


Figura 61: Pont de Wheatstone

Les variables que farem servi són:

- I_B i I_C Intensitat de la Branca B i la branca C respectivament
- V_I Voltatge de la font
- V_B i V_C Voltatge del punt B i el punt C respectivament
- V_{BC} Diferencia de potencial entre el punt B i el C
- Les resistències que surten a la figura superior.

El valor del voltatge V_{BC} es pot arribar a deduir de la manera següent:

- Segons la llei d'Ohm tenim
- Pel que fa als voltatges

$$V_B = \frac{R_X}{I_B} \quad \text{i} \quad V_C = \frac{R_2}{I_C}$$

- Pel que fa a les intensitats

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

$$I_B = \frac{R_X + R_3}{V_I} \quad \text{i} \quad I_C = \frac{R_1 + R_2}{V_I}$$

- Si substituïm les intensitats per la seva formula trobem que els voltatges són

$$V_B = \frac{R_X V_I}{R_X + R_3} \quad \text{i} \quad V_C = \frac{R_2 V_I}{R_1 + R_2}$$

- Per calcular la diferencia de potencial entre el punt B i el Punt C tenim:

$$V_{BC} = V_B - V_C = \frac{R_X V_I}{R_X + R_3} - \frac{R_2 V_I}{R_1 + R_2}$$

$$V_{BC} = V_I \left(\frac{R_X}{R_X + R_3} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Un cop coneguda la formula per saber el valor del voltatge entre el punt B i el punt C a partir de les resistències i el voltatge d'entrada, hem d'aïllar la resistència que representa el sensor R_X . Com que coneixerem tots els altres valors calcular la resistència del sensor serà trivial.

- Aïllem R_X :

$$(R_X + R_3)(R_1 + R_2) V_{BC} = V_I \left(\frac{(R_X + R_3)(R_1 + R_2) R_X}{(R_X + R_3)} - \frac{(R_X + R_3)(R_1 + R_2) R_2}{(R_1 + R_2)} \right)$$

$$(R_X + R_3)(R_1 + R_2) V_{BC} = V_I (R_1 R_X + \cancel{R_2 R_X} - \cancel{R_2 R_X} - R_2 R_3)$$

$$(R_X + R_3)(R_1 + R_2) V_{BC} = V_I (R_1 R_X - R_2 R_3)$$

$$(R_X R_2 + R_2 R_3 + R_X R_1 + R_1 R_3) V_{BC} = V_I (R_1 R_X - R_2 R_3)$$

$$(R_X R_2 + R_X R_1) V_{BC} + (R_2 R_3 + R_1 R_3) V_{BC} = V_I (R_1 R_X) - V_I (R_2 R_3)$$

$$(R_2 + R_1) V_{BC} R_X - (V_I R_1) R_X = -(R_2 R_3 + R_1 R_3) V_{BC} - V_I (R_2 R_3)$$

$$(V_I R_1 - (R_2 + R_1) V_{BC}) R_X = (R_2 R_3 + R_1 R_3) V_{BC} + V_I (R_2 R_3)$$

$$R_X = \frac{(R_2 R_3 + R_1 R_3) V_{BC} + V_I (R_2 R_3)}{V_I R_1 - (R_2 + R_1) V_{BC}}$$

12.2 *Introduccions als components electrònics*

12.2.1 Introducció

Per començar a entrar en matèria, veurem en grans trets les definicions dels components electrònics que anirem veient al llarg d'aquest tema. L'objectiu d'aquest apartat és concentrar les definicions esmentades per tal de fer més amena la lectura dels capítols següents en cas que el lector ja hi estigui familiaritzat.

12.2.2 Microcontrolador

Un microcontrolador és un circuit integrat en un xip que conté en el seu interior tres unitats funcionals: La unitat central de processament (CPU), la memòria, la unitat d'entrada i sortida i altres possibles perifèrics. Aquesta és la característica fundamental que els diferencia dels microprocessadors, els quals només contenen la CPU en el seu interior, per tant, necessiten que les altres unitats siguin externes, cosa que complica l'estructura del sistema. La integració d'aquests components dintre d'un mateix integrat aporta moltes millores més, com pot ser la reducció dels costos i l'estalvi energètic. Per altre banda, també comporta desavantatges com la incapacitat de modificar les característiques del microcontrolador ja que les unitats funcionals estan encapsulades a l'interior del xip encara que al disposar de gran quantitat de models, podem escollir quin serà l'integrat amb les prestacions més òptimes per cada cas. A mida que s'ha anat millorant les tècniques d'encapsulació, s'han anat afegint funcionalitats als integrats tals com la compatibilitat hardware d'estàndards de comunicació com UART, I2C, CAN, ... convertidors AD, ampliació dels bits de treball del processador, entre moltes altres.

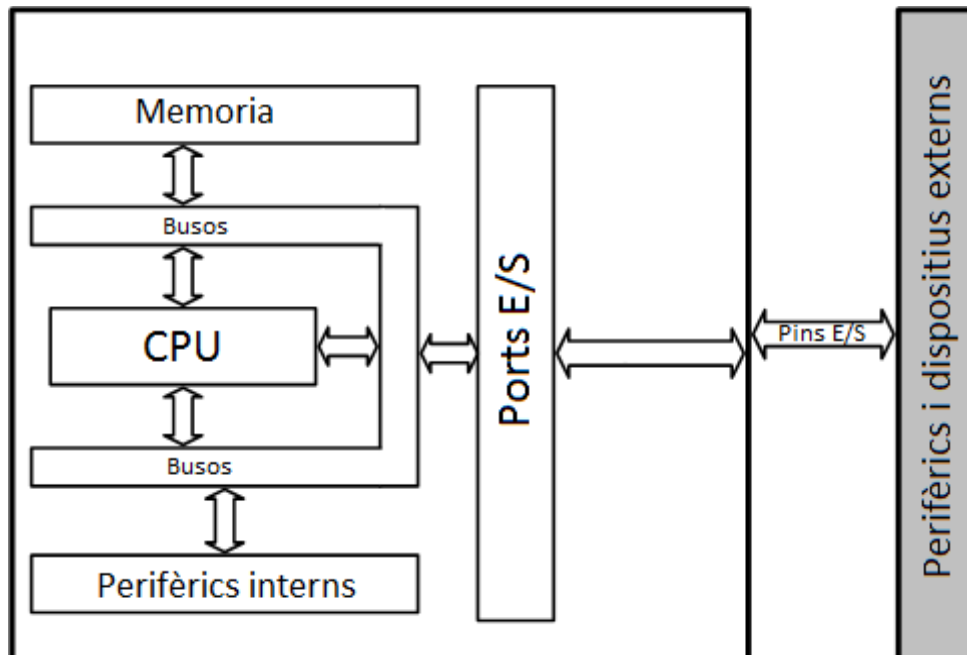


Figura 62: Esquema intern de l'estructura d'un microcontrolador

Actualment el microcontroladors estan presents pràcticament a tot arreu, des de els electrodomèstics més senzills com pot ser un despertador, fins a les unitats de control dels cotxes. Aquest fet ha estat incentivat per el baix cost d'aquests components, per la seva simplicitat relativa i per el seu baix consum energètic podent utilitzar un microcontrolador durant mesos amb una sola pila botó.

12.2.3 Oscil·lador

L'oscil·lador és la base de la freqüència de treball del nostre microcontrolador i per tant, marcarà la velocitat d'execució del programa. Hem utilitzat el cristall de 8 Mhz perquè era el que teníem disponible al laboratori i en la fase de desenvolupament no és crític quin valor utilitzem mentre sigui suficient per executar el codi en un temps raonable. Com més alt sigui la freqüència de treball més consumirà el nostre microcontrolador però com més baixa sigui aquesta més temps tardarà en executar-se el nostre codi, de manera que el cristall de quars vindrà donat per el nombre d'instruccions per segon que necessitem executar.

12.2.3.1 Cristall de Quars

El cristall de quars és un rellotge electrònic que es caracteritza per tenir una peça de quars que serveix per generar impulsos en intervals regulars prèviament coneguts amb alta precisió.

12.2.3.2 RC (Resistència condensador)

La utilització del quars com a mètode per aconseguir impulsos a intervals regulars no és la única opció que s'utilitza, de fet, es pot utilitzar una simple resistència i un condensador per aconseguir senyals de forma periòdica. Aquest sistema es basa en el temps de càrrega i descàrrega del condensador connectat a una resistència, de manera que la freqüència de treball dependrà proporcionalment del valor de la resistència i la capacitat del condensador. De manera que la relació de la resistència amb la freqüència serà inversament proporcional mentre que la relació de la capacitat del condensador amb la freqüència serà inversament proporcional. A la figura següent podem veure la connexió típica per un oscil·lador d'aquest tipus, on es connecta la resistència i el condensador en sèrie. Els avantatges d'aquest tipus d'oscil·lador és el seu baix cost i la seva senzillesa mentre que el seu principal desavantatge és la seva poca precisió.

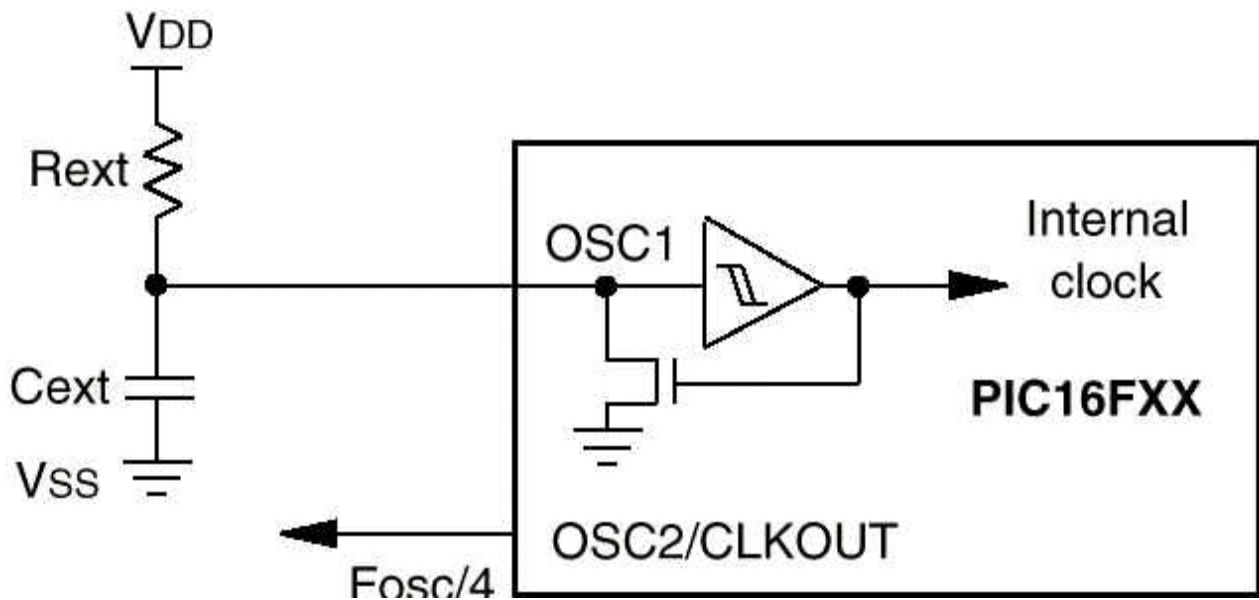


Figura 63: Esquema elèctric d'un oscil·lador RC

12.2.4 Bus I2C

El Bus I2C va ser dissenyat per Philips als anys 80 per permetre una comunicació senzilla entre components integrats a un mateix circuit. Les sigles I2C provenen de les paraules "Inter Integrated Circuit" (entre circuits integrats) abreujat per bus IIC o I2C.

És un bus de comunicacions en sèrie on s'utilitzen dos línies per transmetre la informació, una per les dades anomenada SDA i l'altra per la senyal de rellotge o SCL que serveix per sincronitzar tots els dispositius connectats. Aquestes línies de transmissió són de drenador obert, és a dir, que s'han de connectar amb el voltatge positiu mitjançant resistències, tècnicament dites resistències

Sistema embarcat per a la monitorització i transmissió de forces d'una bicicleta elèctrica

pull-up. Aquestes resistències, serveixen per mantenir el bus en “1” lògic quan no hi hagi cap dispositiu fent-lo servir mentre que quan el bus està en ús i un dispositiu força un “0” lògic, la resistència s'encarrega d'absorbir la diferencia de potencial entre el pol positiu i la línia del bus sense crear cap curtcircuit.

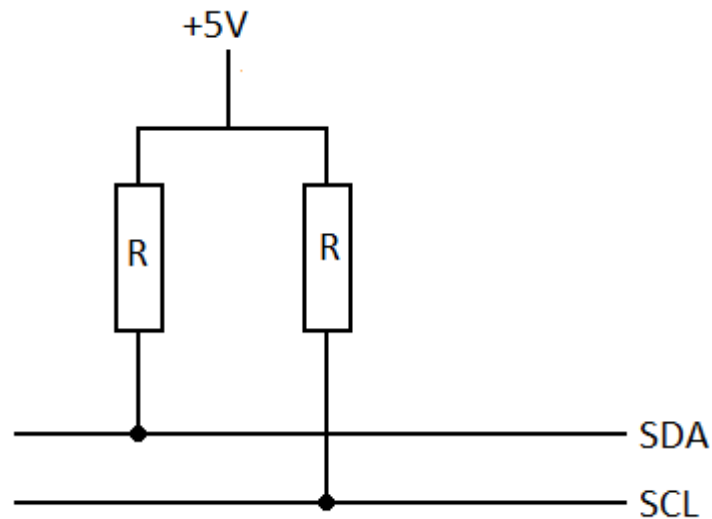


Figura 64: Resistències Pull Up en un Bus I2C

12.3 Esquemes electrònics

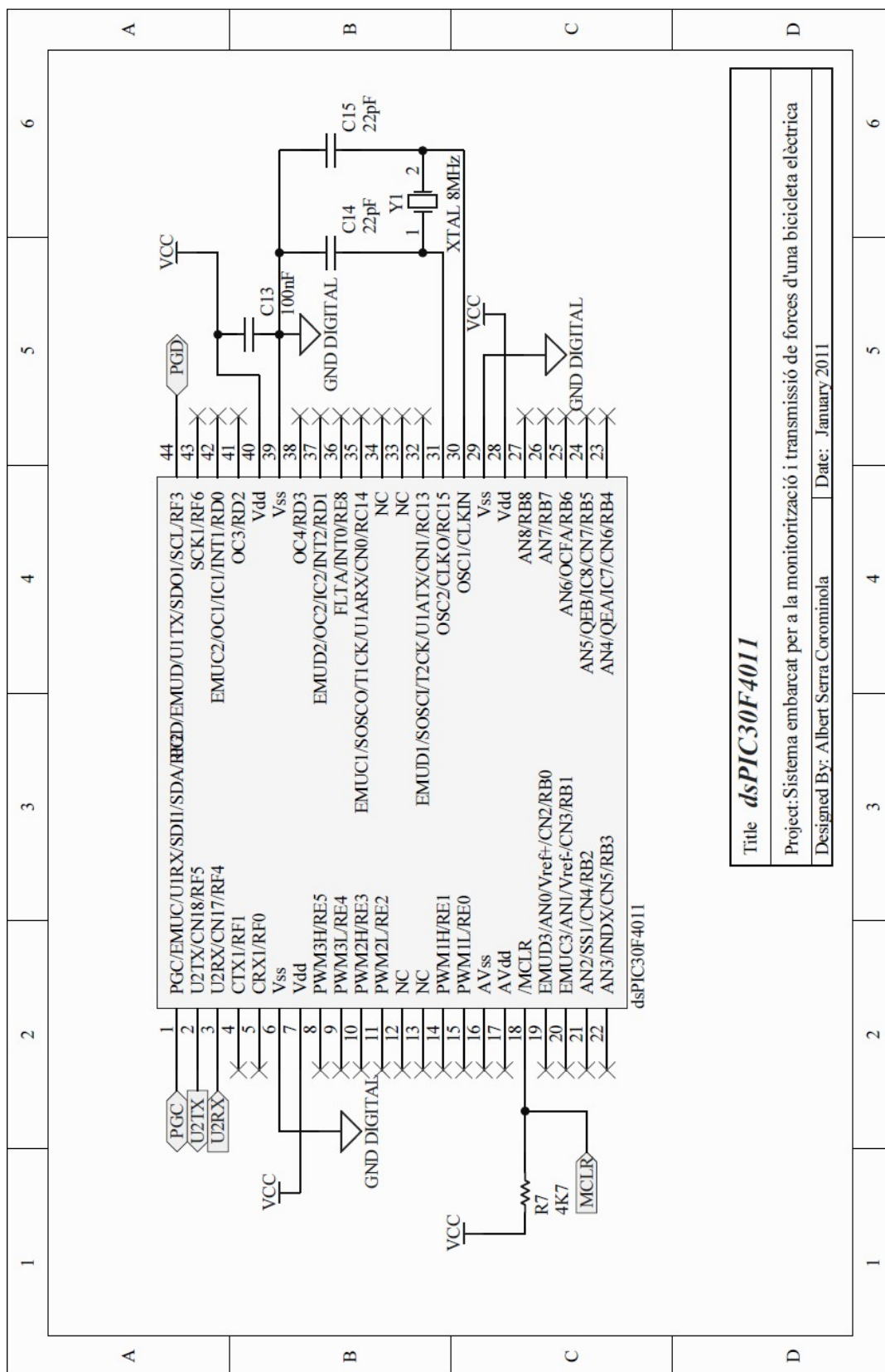


Figura 65: Esquema electrònic del dsPIC30F4011

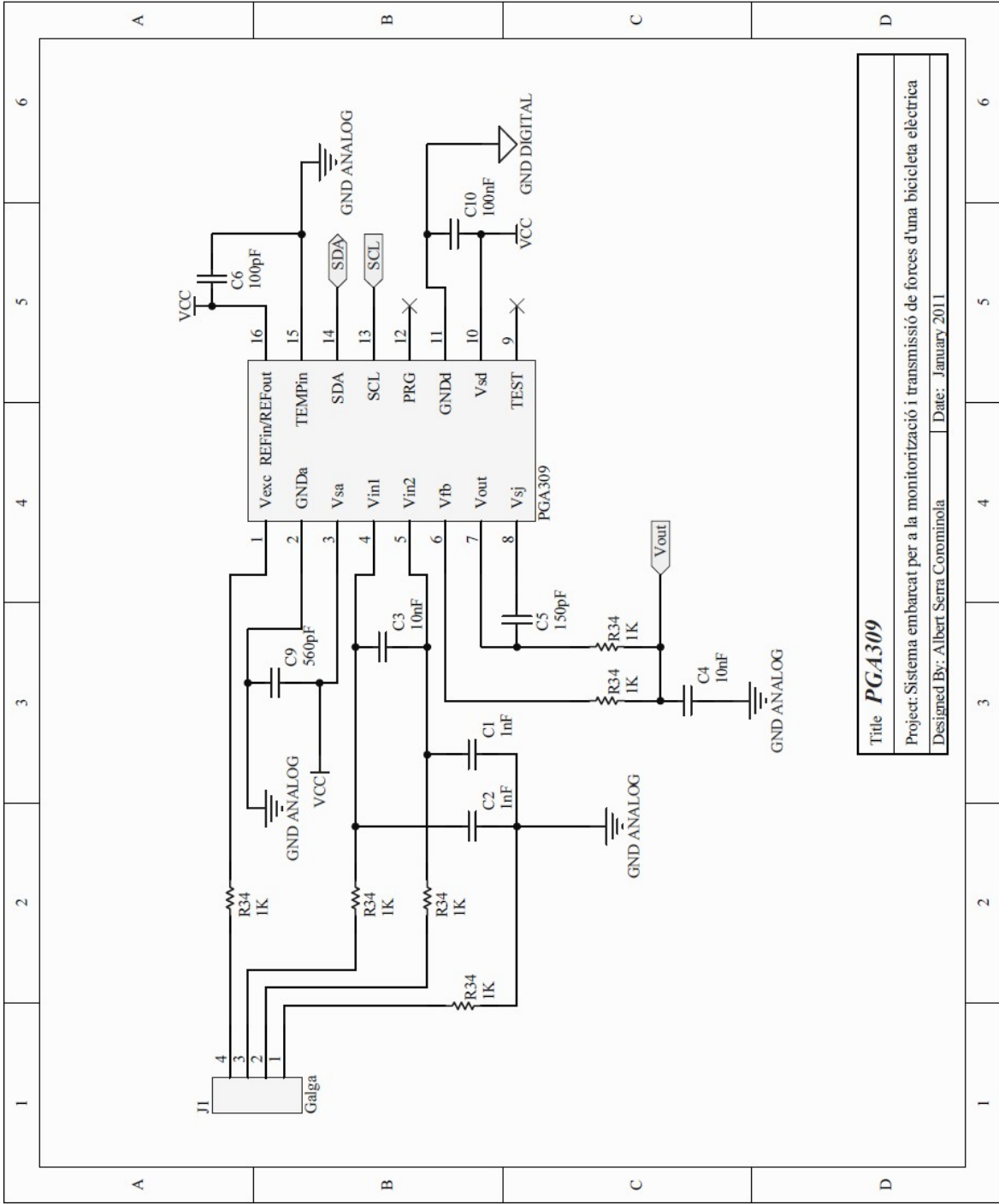


Figura 66: Esquema electrònic de la PGA309

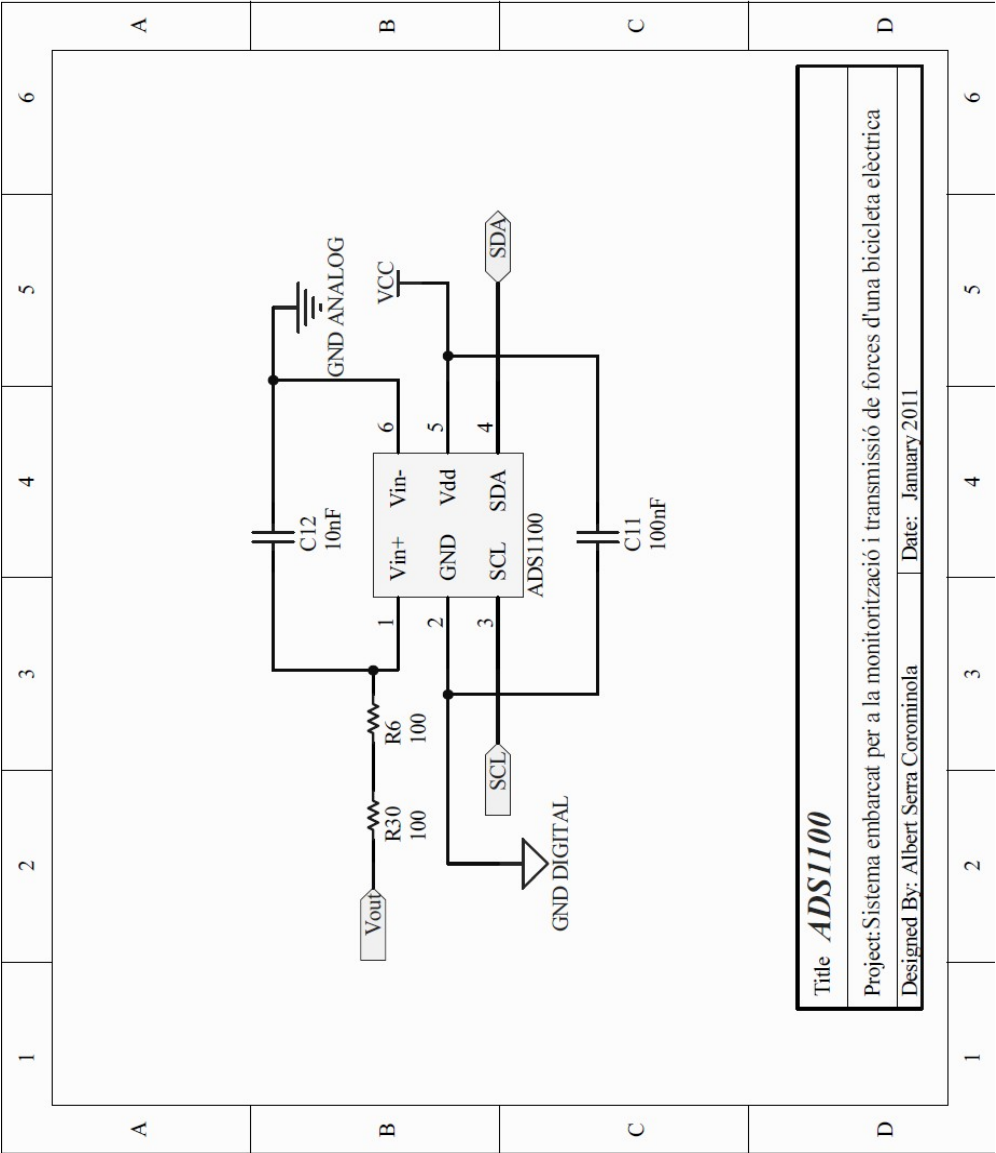


Figura 67: Esquema electrònic dl ADS1100

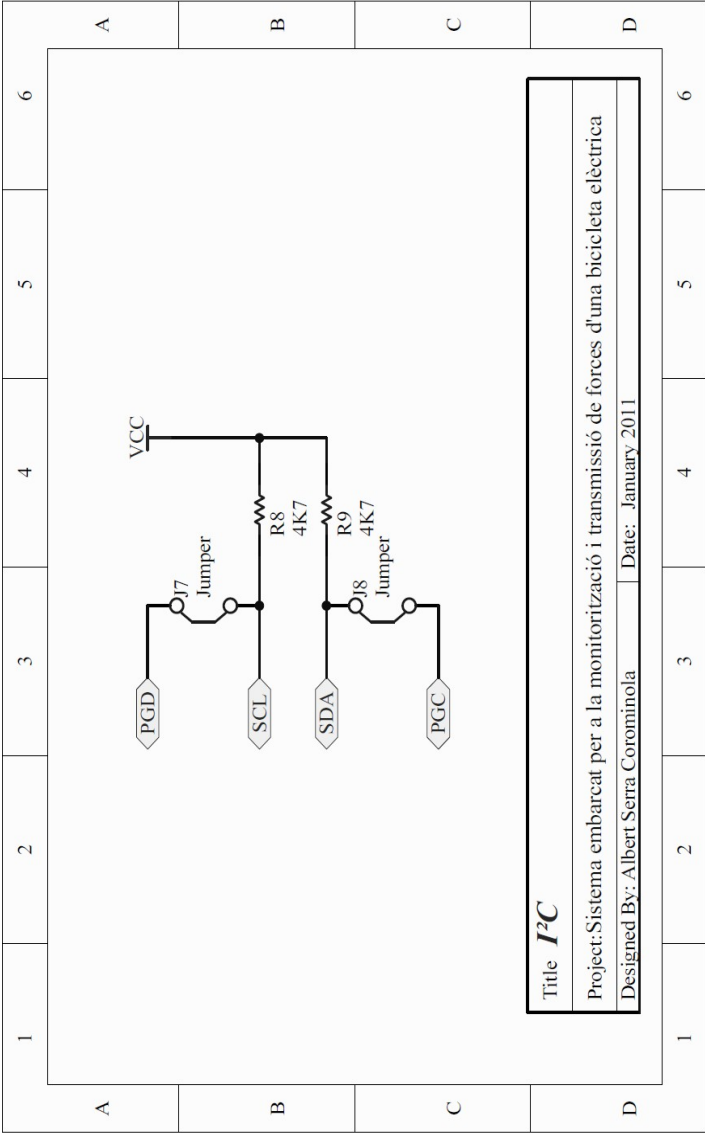


Figura 68: Esquema electrònic del Bus I2C

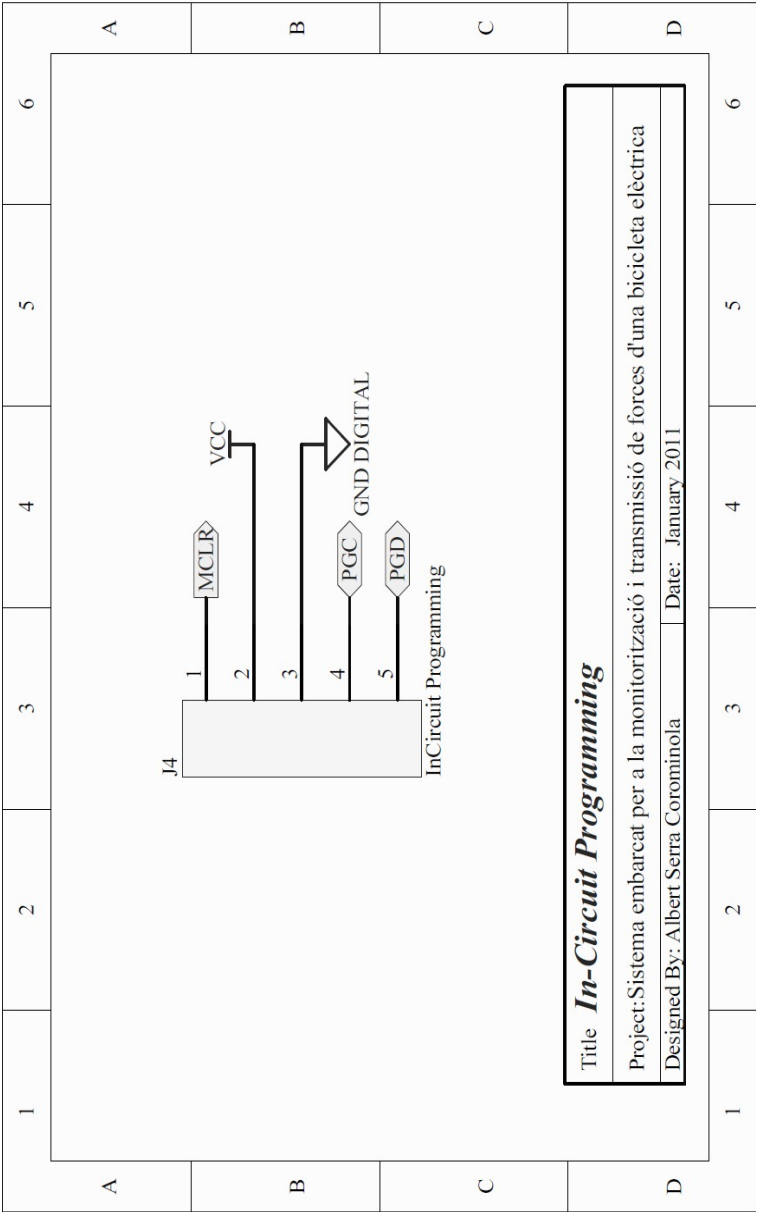


Figura 69: Esquema electrònic del connector In-Circuit Programming

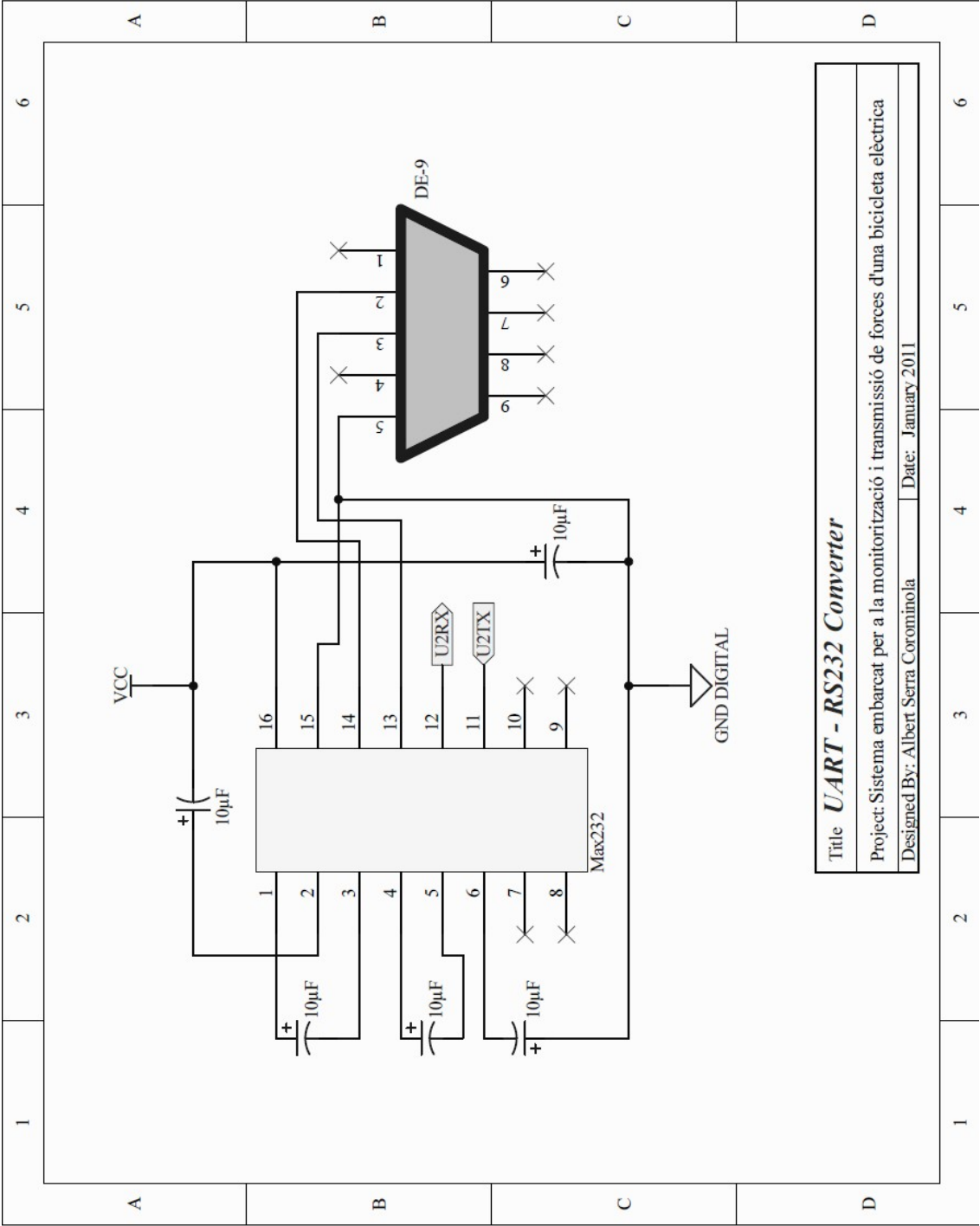


Figura 70: Esquema electrònic del convertidor UART-RS232

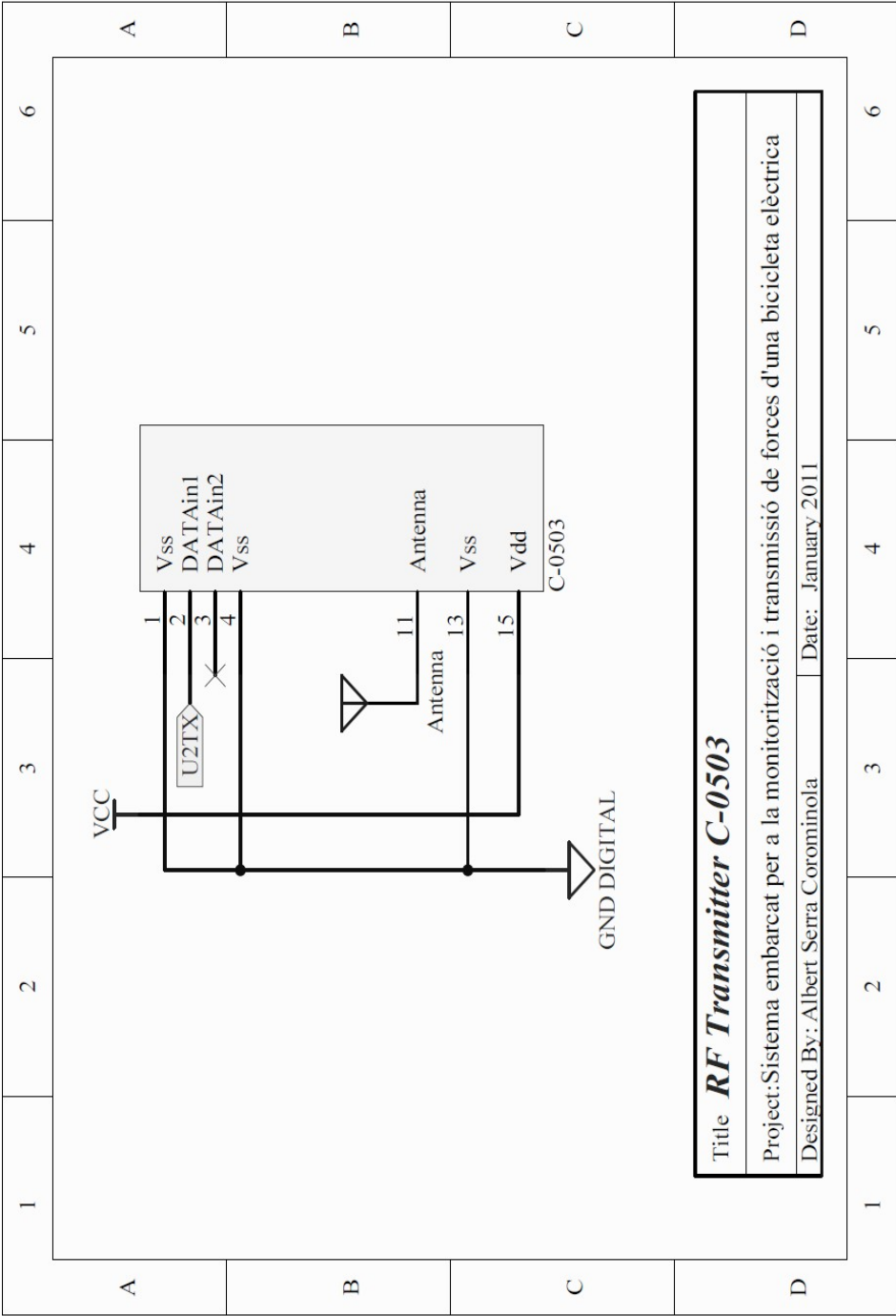


Figura 71: Esquema electrònic del transmissor per radio freqüència

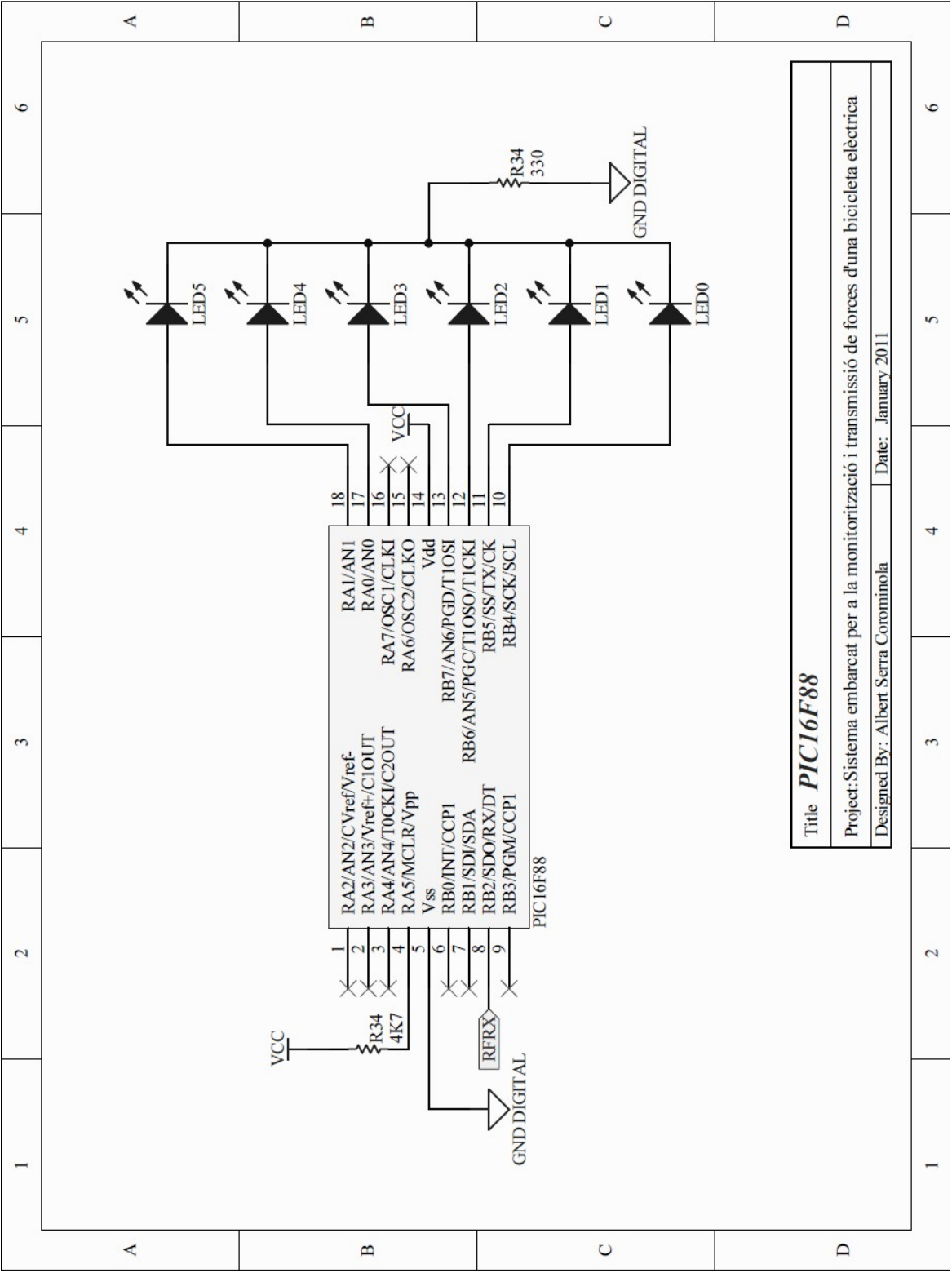


Figura 73: Esquema electrònic del controlador del receptor per radio freqüència